

Aus der Klinik für Orthopädie und Rheumatologie
Direktorin: Frau Prof. Dr. S. Fuchs-Winkelmann
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum
Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg

**Bildgebende Darstellung bewegungsgestörter
Halswirbelsäulensegmente mittels
Single-Photon-Emission-Computed-Tomographie**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Humanmedizin

Dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg vorgelegt von
Matthias Roth aus Groß-Gerau
Marburg 2006

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am 30.11.2006.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan:	Prof. Dr. B. Maisch
Referent:	Prof. Dr. Dr. A. Wilke
Korreferent:	Prof. Dr. H.-J. Wagner

I. Inhaltsverzeichnis

I.	INHALTSVERZEICHNIS	1
1	EINLEITUNG	3
1.1	STAND DER WISSENSCHAFT	4
1.2	MANUELLE MEDIZIN	6
1.2.1	<i>Anatomische Betrachtung.....</i>	<i>6</i>
1.2.2	<i>Wirkmechanismen manueller Therapie.....</i>	<i>8</i>
1.3	NUKLEARMEDIZIN	9
1.3.1	<i>Einführung.....</i>	<i>9</i>
1.3.2	<i>Skelettszintigraphie.....</i>	<i>11</i>
1.3.2.1	Radionuklide.....	11
1.3.2.2	Knochenszintigraphie mit ^{99m} Tc-HDP	11
1.3.2.3	Pharmakokinetik von ^{99m} Tc-HDP	12
1.4	ZIELE DIESER ARBEIT	12
2	PATIENTEN UND METHODE	13
2.1	PATIENTEN	13
2.1.1	<i>Ein- und Ausschlusskriterien.....</i>	<i>13</i>
2.2	ORTHOPÄDISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	14
2.3	PHYSIOTHERAPEUTISCHE UNTERSUCHUNGEN	14
2.3.1	<i>Manualtherapeutische Untersuchung.....</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Sicherheitstests</i>	<i>17</i>
2.3.2.1	Spurling-Test mit Kompression	17
2.3.2.2	Steuerrad Test.....	18
2.3.2.3	Sharp-Percher Test	18
2.3.2.4	De Kleyn Test.....	19
2.3.3	<i>Diagnostik.....</i>	<i>20</i>
2.3.3.1	Gekoppelte Bewegung.....	20
2.3.3.2	Traktion C0 – C1	21
2.3.3.3	Einfädler Test	22
2.3.3.4	Gelenkspiel anterior – posterior	23
2.4	ULTRASCHALLTOPOMETRIE.....	23
2.4.1	<i>Schmerzparameter.....</i>	<i>27</i>
2.4.2	<i>Auswertung.....</i>	<i>29</i>
2.5	RADIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	33
2.5.1	<i>Röntgen.....</i>	<i>33</i>
2.5.2	<i>Kernspintomographie</i>	<i>34</i>
2.6	NUKLEARMEDIZINISCHE UNTERSUCHUNGEN	35
2.6.1	<i>Mehrphasenzintigraphie</i>	<i>35</i>
2.6.1.1	Frühphase	36
2.6.1.2	Blutpool	36
2.6.1.3	Spätphase.....	38

2.6.2	<i>SPECT</i>	40
2.6.2.1	Gewinnung der Rohdaten	40
2.6.2.2	Rekonstruktion und Bearbeitung der Daten	41
2.6.2.3	Gefilterte Rückprojektion	42
2.6.2.4	Iteratives Verfahren	42
2.6.2.5	Auswertung	43
2.6.3	<i>Aussagekraft</i>	47
2.7	STATISTISCHE TESTS	48
3	ERGEBNISSE	49
3.1	ÜBERSICHT	49
3.2	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE DER ULTRASCHALLTOPOMETRIE	53
3.3	RADIOLOGISCHE BEFUNDE	57
3.4	SPECT BEFUNDE	58
3.5	SONSTIGE BEFUNDE	62
4	DISKUSSION	63
4.1	FEHLERQUELLEN	63
4.2	BIOMECHANISCHES ERKLÄRUNGSMODELL	65
4.3	NOZIZEPTIVES ERKLÄRUNGSMODELL	67
4.4	PATHOPHYSIOLOGIE DER BLOCKIERUNG	68
4.5	WERTIGKEIT DER ANGEWANDTEN UNTERSUCHUNGSTECHNIKEN	71
4.6	ÜBERLEGUNGEN ZUM SCHLEUDERTRAUMA	75
5	ZUSAMMENFASSUNG	78
II.	BILDNACHWEIS	81
III.	LITERATURVERZEICHNIS	82
IV.	MEINE AKADEMISCHEN LEHRER	93
V.	DANKSAGUNG	94

1 **Einleitung**

Die Facettegelenke stehen als Schlüsselstruktur der Wirbelsäule im zentralen Interesse orthopädischer und physiotherapeutischer Bemühungen. Durch bisher ungeklärte Pathomechanismen kann es zu einer hypomobilen Bewegungslage, der sogenannten Blockierung, eines oder mehrerer Bewegungssegmente kommen. In über 50% der chronischen Nackenschmerzen nach einem Schleudertrauma werden diese als Ursache angegeben. Bei chronischem Rückenschmerz im Bereich der Lendenwirbelsäule liegt dieser Wert bei bis zu 70%. [Bogduk]

Die Beteiligung dieser Zygapophysialgelenke an der Pathogenese verschiedener Krankheiten im Verhältnis zu einer Bandscheibensymptomatik wird oftmals unterschätzt. Bereits 1976 beschrieb Shealy, dass bei 79% der Patienten mit Lumbago die Facettegelenke beteiligt waren, wohingegen eine Beteiligung der Bandscheibe nur in 1% nachgewiesen werden konnte. [Hourigan et al.]

Vertebragene Schmerzen werden bei einer hohen Zahl der Arztbesuche als Beschwerden angegeben. 2,5% der deutschen Bevölkerung leiden unter zervikogenem Kopfschmerz. Die Prävalenz innerhalb der Kopfschmerzpatienten beträgt 13,8% – 17,8%. Auch hier stellen Störungen der Facettegelenke eine wahrscheinliche Ursache dar. Der wirtschaftliche Verlust durch kopfschmerzbedingten Erwerbsausfall wird in den USA auf 57 Milliarden Dollar pro Jahr geschätzt. [Hurwitz et al.]

Bisher ist eine Blockierung keinem bildgebenden Verfahren zugänglich. Weder konventionelles Röntgen noch MRT (Magnetresonanztomographie) oder CT (Computertomographie) sind in der Lage eine Hypomobilität darzustellen. [Bogduk] Aus verschiedenen Gründen steht die Objektivierung und Bildgebende Darstellung dieses Phänomens im Zentrum des wissenschaftlichen Interesses. Patienten die an den Spätfolgen eines Schleudertraumas leiden haben oftmals eine lange Odyssee hinter sich. Diagnosen wie „Multisensorische neuroontologische Funktionsstörung, Zentrale Gleichgewichtsfunktionsstörung, Tieftonschwerhörigkeit, usw.“ werden gestellt. Bisher fehlt aber jegliche Möglichkeit, einen Zusammenhang zu dem Unfallereignis aufzuzeigen. Ebenso wenig gelingt der handfeste Beweis vor Gericht.

Trotz der bekannten Somatisierungstendenz bei Rückenschmerzen sollte nicht der Fehler begangen werden, diese vorschnell als rein psychosomatische Beeinträchtigungen zu kategorisieren. [Biedermann] Mit dem Nachweis einer Halswirbelsäulen-Veränderung könnten diese Beschwerden objektiviert werden.

Ein aufprallbedingtes HWS-Syndrom (= Schleudertrauma) ist grundsätzlich auch bei leichten Auffahrunfällen nicht auszuschließen. Nach aktueller Rechtssprechung kann ein Verletzter selbst bei einer Geschwindigkeit von 8-9 km/h ein solches erleiden und daher einen Schmerzensgeldanspruch haben. Als Spätfolge nach einem Schleudertrauma manifestiert sich eine eingeschränkte Beweglichkeit in allen Bewegungsrichtungen. Die stärksten Beeinträchtigungen zeigen sich hier in Extension und Flexion. Allein anhand der Bewegungsanalyse konnte bei 203 Patienten in 90,3% die richtige Diagnose „Posttraumatisches HWS-Syndrom“ gestellt werden. [Dall'Alba et al.] 14 - 42% der betroffenen Patienten werden nach einem Auffahrunfall persistierende Schmerzen entwickeln. Über ständig bestehende Beschwerden berichten 10%. [Sterling]

Methodische Schwerpunkte wurden in dieser Arbeit besonders auf die Gebiete „Manuelle Diagnostik und Therapie“ sowie die „Nuklearmedizinische Diagnostik“ gelegt. Diese stellen eher spezielle Disziplinen der Medizin dar und können nicht von jedem Leser als Grundwissen vorausgesetzt werden.

1.1 *Stand der Wissenschaft*

Mit nuklearmedizinischen Methoden ist es möglich, den Stoffwechsel des Knochens darzustellen. Dabei wird ein Medikament injiziert, dass sich kalziumanalog im Knochen anlagert. Durch die beim Zerfall entstehenden Gamma-Quanten kann indirekt ein Rückschluss auf den Ort und die Aktivität des Knochenstoffwechsels gezogen werden.

Bisher gibt es nur wenige Publikationen, die sich der Skelettszintigraphie zur Diagnostik von Schmerzen am Bewegungsapparat bedienen.[Dutton et al., Even-Sapir et al., Holder et al., Pekindil et al., Ryan et al., Wilke et al.] De Maeseneer et al. zeigten diese Veränderung und korrelierten die skelettszintigraphischen Befunde in der dreidimensionalen Darstellung des Knochenstoffwechsels in SPECT (Single-Photon-

Emission-Computertomographie) Technik mit Röntgen, CT und MRT Aufnahmen, zur Erklärung des tiefen Rückenschmerzes. [Maeseneer De et al.] Es scheint eine positive Korrelation zwischen einer röntgenologischen Verschmälerung des Gelenkspaltes der Zygapophysialgelenke und deren Uptake zu existieren. [Ryan et al.] In einer Gruppe von 39 untersuchten Patienten mit einem positiven Befund der Skelettszintigraphie der LWS fanden sich bei nur 8 (21%) radiologische Zeichen einer Sklerosierung. [Connolly et al.] Dies zeigt den hohen Grad an Sensitivität der nuklearmedizinischen im Gegensatz zu anderen strahlendiagnostischen Verfahren. 2000 zeigten Wilke et al., dass eine Blockierung ebenfalls mit einem einseitig erhöhten Stoffwechsel einhergeht. [Wilke et al.]

In der Zahnmedizin ist die dreidimensionale Darstellung des Knochenstoffwechsels ein etabliertes Verfahren um Schmerzen des Kiefergelenkes oder parodontale Veränderungen zu untersuchen. [Nucci De et al., Schimming et al.]

Bisher wurden SPECT Aufnahmen der Wirbelsäule visuell ausgewertet, d. h. ein Facettegelenk wurde als fraglich auffällig bewertet und anschließend mit der Gegenseite verglichen. Diese Methode birgt die Gefahr, den Hauptbefund zu Kosten eines Nebenfundes zu übersehen. Desweiteren ist es nicht möglich, Stoffwechselverläufe über die gesamte Halswirbelsäule zu analysieren.

In dieser Studie wurde erstmals eine Methode eingesetzt, die die ganze Halswirbelsäule seitenvergleichend analysiert. Somit konnte nicht nur eine Aussage über ein fragliches Segment, sondern über das vermutliche Stoffwechselverhalten der gesamten HWS getroffen werden. Auch im Bezug auf die Höhenlokalisierung der Störung bieten sich neue Möglichkeiten.

Zur Dokumentation von Beweglichkeit und Bewegungsdynamik der Halswirbelsäule wurde ein Computergestütztes Vermessungsverfahren eingesetzt. Die exakte Positionsbestimmung erfolgt mittels Ultraschalltopometrie. Im klinischen Alltag ist diese konkurrenzlos, da lediglich für die Kopfgelenkbeweglichkeit eine objektivierbare Messmethode in Form des Funktions-CT besteht. Auch bei gutachterlichen Fragestellungen bietet diese Untersuchung gute Dokumentationsmöglichkeiten.

Allerdings ist auch diese Bewegungsanalyse nur so gut wie die Compliance des Patienten. [Haaker et al.]

Der besondere Vorzug der Bewegungsanalyse gegenüber einfacher Winkelmessung liegt in der Information über dynamische und funktionelle Elemente des subjektiven und objektiven Bewegungsverhaltens. Im Rahmen der „Evidence Based Medicine“ nimmt der Stellenwert einer computergestützten Dokumentation immer weiter zu, um z. B. auch Erfolge der Rehabilitationsmaßnahmen zu objektivieren.

Die noninvasive Messung der Beweglichkeit wird auch in Zukunft nicht aus der klinischen Praxis wegzudenken sein, da neben der mit Strahlenbelastung verbundenen 2D-Skelettradiographie keine Alternativen zur Verfügung stehen.

1.2 *Manuelle Medizin*

Die Berichte über Gelenkmanipulationen reichen bis in die Schaffensperiode von Hippokrates zurück. Im 20. Jahrhundert entwickelten sich die großen Schulen der Osteopathie und der Chiropraktik. [Beyerlein] Untersuchung und Therapie in dieser Studie basieren auf dem Konzept der „Orthopädischen Manuellen Therapie“.

1.2.1 Anatomische Betrachtung

Zur Verständniserleichterung der nachfolgenden Tests werden die funktionell wichtigen anatomischen Besonderheiten der Halswirbelsäule beschrieben.

Als Bewegungssegment definiert man zwei benachbarte Wirbelkörper. Diese artikulieren über die zentral gelegene Bandscheibe und laterodorsal durch zwei an den Laminae Arcus vertebrae befindlichen Articulationes zygapophysiales.

Die Halswirbelsäule ist der beweglichste aber auch der störungsanfälligste Abschnitt der Wirbelsäule. Sie wird funktionell in 3 eigenständige Abschnitte unterteilt:

- Kopfgelenke (Kondylen des Os occipitale, Atlas – Axis)
- Mittlere HWS (3. – 5. Halswirbelkörper)
- Cervicothorakaler Übergang (6. und 7. HWK, 1. – 3. Brustwirbelkörper)

Die oberen Kopfgelenke (C0 – C1) werden cranial von den Condyli occipitalis und caudal durch die Foveae articularis superior des Atlas geformt. Die möglichen Bewegungen in diesem Gelenk sind die Extension / Flexion (ca. 15°) und die Lateralflexion (ca. 3° bds.).

Die unteren Kopfgelenke (C1 – C2) werden durch die Articulatio atlantoaxialis mediana und die Articulationes atlantoaxiales laterales gebildet. Der Dens Axis wird durch das Lig. transversum gegen den Atlasbogen gedrückt. Hierdurch entsteht das mediale atlantoaxiale Gelenk. Dieses Gelenk bietet mit Extension / Flexion (ca. 15°) und Rotation (ca. 35° bds.) zwei Freiheitsgrade.

Die ligamentäre Sicherung der oberen HWS ist sehr wichtig, da bei Instabilitäten die Medulla oblongata komprimiert werden kann. Ein pathologischer Befund bei der Testung des Lig. transversum atlantis (verbindet die beiden Massae laterales atlantis) oder der Ligg. alaria (ziehen vom Dens axis zum Occiput) stellen eine Kontraindikation für die manuelle Therapie dar.

Die untere HWS unterscheidet sich anatomisch von der oberen u.a. durch die Existenz von Bandscheiben und Uncovertebralgelenken. Die Facettegelenke von C2 – C3 stehen in einem Winkel von 40° (nach dorsal abfallend) zur Sagittalebene. Nach caudal reduziert sich dieser Winkel bis auf 10°. Durch die konkav geformte Gelenkfläche des oberen Gelenkpartners gleitet dieser bei Flexion nach vorne. [Brils]

Eine weitere Besonderheit der HWS stellt die A. Vertebralis dar, die durch die Foramina transversi nach cranial geführt wird. Sie tritt in 90% der Fälle in der Höhe von C6 ein, umschlingt den Arcus atlantis posterior, um anschließend durch die Membrana atlanto-occipitalis posterior in die Schädelgrube einzudringen. Dort vereinigen sich die rechte und linke A. vertebralis zur A. basilaris, welche lebenswichtige Areale des Gehirns versorgt. Eine Verengung des Lumens auf weniger als 60% (dieser Wert variiert je nach Grad der Vorschädigung erheblich) hat neurologische Symptome wie z. B. Sprachstörungen, Nystagmus, Schwindel, Nausea oder Tinnitus zur Folge. [Bessler]

Ebenfalls zu bedenken ist, dass sich vor dem Köpfchen der ersten Rippe das Ganglion stellatum befindet. Hier kann es zu sympathischen Irritationen kommen.

Auch vertebroviscerale Beziehungen zu Herz und Lunge sowie Wechselwirkungen mit Muskel-, Faszien-, Band- und Hautstrukturen nehmen in der Klinik einen hohen Stellenwert ein. In den Wurzeln von C1 – C3 treffen die Afferenzen des N. trigeminus (Dura, Haut) und des N. occipitalis major (Muskeln, Haut, Gelenke) zusammen. Die Entstehung von Kopfschmerzen durch Reizung der Synovia findet hier ihr anatomisches Korrelat. [Speckmann et al.]

1.2.2 Wirkmechanismen manueller Therapie

Im Falle einer diagnostizierten Hypomobilität gibt es verschiedene Möglichkeiten, das physiologische Gelenkspiel wieder herzustellen. Auch wenn der Entstehungsmechanismus einer Blockierung noch nicht abschließend geklärt werden konnte, existieren hierzu verschiedene Strategien. Als Zielstrukturen kommen Muskeln, Sehnen, Bänder oder die Gelenkpartner selbst in Frage. Die Muskulatur scheint in einer Vielzahl der Fälle entscheidend an der Aufrechterhaltung der pathologischen Stellungsveränderung des Bewegungssegmentes beteiligt zu sein. [Goldmann et al.] Mit detonisierenden Maßnahmen wie z. B. Massage, Querfraktion, medikamentöse Therapie usw. kann man den Grundtonus positiv beeinflussen. Blockierungen können sich im Einzelfall nach relaxierender Medikation ohne weitere manuelle Therapie lösen.

Schneller Erfolg stellt sich oftmals über die Mobilisation des Gelenkes ein. Durch einen vorsichtigen und schmerzfreien Schub in der Ebene der konkaven Gelenkfläche wird das Gelenkspiel wieder hergestellt. Mobilisiert wird hier zunächst in Richtung der Bewegungseinschränkung, später auch in andere Bewegungsrichtungen. [Ernst et al.]

Eine effektive und reizarme Methode stellt die Manipulation dar. Auch in dieser Studie wurde die Blockierung durch Manipulation gelöst. Die benachbarten Gelenke werden zunächst durch Flexion und Lateralflexion der Halswirbelsäule verriegelt. Bei der nachfolgenden Manipulation kann hier keine Bewegung mehr stattfinden, und der ausgeübte Impuls ausschließlich auf die Zielstruktur einwirken. Anschließend wird manuell ein fester Tiefenkontakt mit den Wirbelkörpern aufgenommen. Unter

Ablenkung des Patienten wird nun eine Bewegung mit hoher Geschwindigkeit und möglichst kleinem Weg ausgeübt. [Evans, McCarthy]

Das primäre Ziel von Mobilisation und Manipulation ist es, das physiologische Gelenkspiel wieder herzustellen und durch das Vermitteln arthrokinematischer Impulse ein neues Bewegungsmuster zu schaffen. [Evans]

Cervicogener Kopfschmerz scheint durch Manipulation besser behandelbar zu sein als durch Massage. Vor allem Spannungskopfschmerz aber auch migräneartige Beschwerden lassen sich reduzieren. [Bronfort et al.]

Da das bewegungseingeschränkte Gelenk oftmals nicht die Ursache für die Entstehung einer Blockierung ist, muss vor allem bei rezidivierenden Blockierungen an eine andere Störquelle gedacht werden. Hier kommen für die HWS vor allem das Kiefergelenk, Statikveränderungen in der Wirbelsäule aber auch viscerale Faktoren in Frage. [Berghs]

Um einen dauerhaften Erfolg zu gewährleisten, ist ein muskuläres Ausgleichs- und Aufbautraining, verbunden mit Koordinations-, Dehnungs- und Entspannungsübungen notwendig.

1.3 *Nuklearmedizin*

1.3.1 Einführung

Mit Hilfe nuklearmedizinischer Verfahren ist es möglich, Stoffwechsel Vorgänge des Körpers sichtbar zu machen. Viele andere bildgebenden Verfahren (wie z. B. Computertomographie, Kernspintomographie, Röntgen) erlauben nur indirekte Rückschlüsse über Stoffwechselvorgänge im Körper. Vor allem frühe Veränderungen im Knochen können erfasst werden. Im konventionellen Röntgen z. B. zeigt sich eine Kalksalzminderung erst ab 30 – 50 % und osteolytische Prozesse erst ab einer Größe von 1,5 cm. Vergleichende Studien haben gezeigt, dass die Skelettszintigraphie 6 – 18 Monate vor dem konventionellen Röntgen metastatische Prozesse sichtbar macht. [Ryan et al.] Mittlerweile zeigen moderne kernspintomographische Verfahren eine

ähnlich gute Sensitivität im Nachweis osteolytischer Knochenumbauprozesse. Hierbei wird die Verdrängung des Fettmarksignals genutzt.

Beispielsweise wird eine Fraktur des Processus odontoideus bei 10 - 20% der untersuchten Patienten mit Schleudertrauma diagnostiziert. Oftmals zeigt sich im Röntgenbild kein eindeutiger Befund. Durch die Veränderung des Knochenstoffwechsels können auch diese Frakturen erkannt werden. [Gerstenkorn et al.] Mehrzeilencomputertomographie und MRT bieten ähnlich gute Sensitivitäten und Spezifitäten.

Bei der nuklearmedizinischen Untersuchung werden Stoffe verwendet, die instabile Atomkerne besitzen. Diese radioaktiven Atomkerne geben bei ihrem Zerfall Energie ab. Diese zeigt sich teils als kinetische Energie in Form von geladenen Teilchen, teils als elektromagnetische Strahlungsenergie in Form von Gammastrahlung. Letztere durchdringt auch dickere Gewebsschichten, und kann so außerhalb des Körpers detektiert werden.

In der Nuklearmedizin werden entweder radioaktive Isotope von solchen Elementen verwendet, deren Verteilung im Körper bekannt ist, oder markierte Radiopharmaka, die spezifisch in den zu untersuchenden Organen angereichert und verstoffwechselt werden. [Even-Sapir et al.]

Radioaktivität wird messbar, sobald Energie aus der Strahlung in Materie absorbiert wird. Zum Nachweis von Gammaquanten nutzt man einen Szintillationszähler. Natrium-Jod-Kristalle im Szintillationszähler wandeln die aufgenommene Energie in Lichtblitze um. Diese Lichtblitze treffen dann auf eine Photokathode und werden anschließend mit Hilfe eines Elektronenvervielfachers um das 1.000.000 fache verstärkt. Die Zahl der pro Zeiteinheit meßbaren Signale, die Zählrate, ist der Menge der Radioaktivität proportional. Für eine exakte Bestimmung der Aktivität wäre eine in vivo nicht durchführbare Messung aus allen Ebenen um die Probesubstanz herum notwendig. Alle nachfolgend ermittelten Daten können somit nur einen indirekten Rückschluss auf die tatsächlich Stoffwechsellage liefern.

Um eine genauere Lokalisation zu ermöglichen, werden Kollimatoren eingesetzt, die nur parallel eintreffende Strahlen durchlassen.

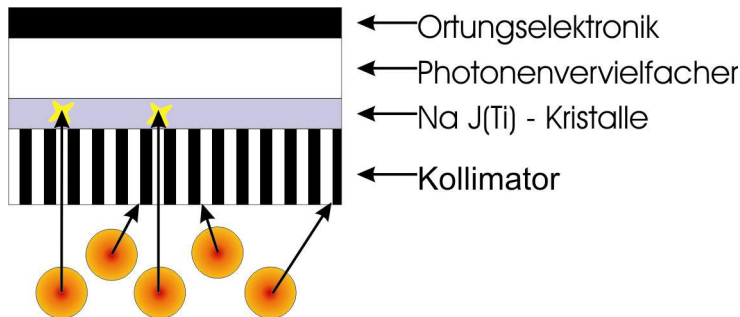


Abbildung 1-1 Detektoreinheit einer Gammakamera

1.3.2 Skelettszintigraphie

1.3.2.1 Radionuklide

Ein definiertes radioaktives Element zeichnet sich stets durch ein bekanntes Strahlungsspektrum und durch eine bekannte Halbwertszeit aus. Das metastabile Technetium (^{99m}Tc) ist ein Zwischenprodukt beim Zerfall von Molybdän zu dem nur noch leicht radioaktiven ^{99}Tc . ^{99m}Tc besitzt eine Halbwertszeit von 6 Stunden, sein Zerfallsprodukt ^{99}Tc eine von 200.000 Jahren. Die nach einer Untersuchung verbleibende ^{99}Tc -Radioaktivität ist mit etwa 1 Bq (Becquerel = Zerfall / Sekunde) vernachlässigbar gering. ^{99m}Tc ist ein reiner Gammastrahler mit einer Quantenenergie von 140 KeV. Die für den Körper schädlicheren Alpha- und Betateilchen werden nicht emittiert.

1.3.2.2 Knochenszintigraphie mit ^{99m}Tc -HDP

Insbesondere die Wirbelsäule ist als Stützorgan des Körpers ständigen Umbauprozessen unterworfen, welche sich durch einen regen Stoffwechsel bemerkbar machen. Die Aktivität der Osteoblasten und Osteoklasten wird durch Interleukin 1, Interleukin 6, TNF, Parathormon und Prostaglandine gesteuert. Um die Verteilung des Technetiums im Körper zu ermöglichen, wird es an einen sogenannten „Tracer“ gekoppelt. In unserem Falle handelt es sich um Dinatriumoxidronat (HDP). Dieses wird analog zu Kalzium von intakten Osteoblasten an die

Hydroxylapatitstrukturen des Knochens angelagert. Je ausgeprägter die Umbauvorgänge im Knochen sind, um so größer ist die pro Zeiteinheit zur Besetzung durch Kalzium verfügbare Fläche. Somit ist die Aufnahme (uptake) des ^{99m}Tc -HDP proportional zu der vom Knochen eingelagerten Menge an Kalzium und damit zur Aktivität der Osteoblasten.

1.3.2.3 *Pharmakokinetik von ^{99m}Tc -HDP*

Der aktiven Anreicherung des ^{99m}Tc -HDP geht ein Diffusionsprozess voraus. Das Medikament diffundiert zunächst langsam aus den Gefäßen in den Extravasalraum und wird anschließend in den Knochen angereichert. Ein großer Teil wird über die Niere ausgeschieden. Um einen günstigen Kontrast der Aktivitäten im Knochen und im Extravasalraum zu erreichen, müssen nach Applikation mindestens 2 Stunden vergehen. Entzündungsprozesse gehen mit einer erhöhten Durchblutung und Gefäßpermeabilität einher. Das ^{99m}Tc -HDP diffundiert ebenfalls schneller aus dem Gefäß. Dieser Effekt tritt vor allem kurz nach Injektion des Radiopharmakons auf. Somit können Entzündungsprozesse wie z. B. Osteomyelitis oder eine Synovitis erkannt werden. Um eine Aussage über den zeitlichen Verlauf des Uptakes machen zu können, fertigt man zu verschiedenen Zeiten Szintigramme an.

1.4 *Ziele dieser Arbeit*

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Etablierung eines objektivierbaren Nachweisverfahrens vertebraler Blockierungen. Aus forensischer Sicht bedarf es dringend weiterer Beweismöglichkeiten des HWS-Syndroms.

Ein weiteres Ziel besteht in einer Analyse verschiedener Theorien zum Pathomechanismus einer Hypomobilität und deren Interpretation vor dem Hintergrund der neu erhaltenen Ergebnisse.

2 Patienten und Methode

2.1 *Patienten*

Von den insgesamt 25 untersuchten Patienten konnte bei 12 manualtherapeutisch eine Hypomobilität diagnostiziert werden. Die verbleibenden 13 Patienten wurden als Kontrollgruppe herangezogen. Dabei handelte es sich um Personen, die aus anderer medizinischer Indikation eine Knochenszintigraphie erhielten und weder anamnestisch noch klinisch eine Pathologie der Halswirbelsäule aufwiesen.

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 15 Frauen und 10 Männern zusammen. Das Durchschnittsalter betrug bei einer Spanne von 18 – 37 zum Untersuchungszeitpunkt 27,8 Jahre.

2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- Verdacht auf Blockierung eines oder mehrerer Zwischenwirbelgelenke der Halswirbelsäule
- Manualtherapeutisch gestellte Diagnose einer Hypomobilität der HWS
- Alter zwischen 18 und 40 Jahren
- Unterschriebene Einverständniserklärung (nach ausführlicher Aufklärung)

Ausschlusskriterien:

- Schwangerschaft
- Neurologische Symptome wie Parese oder Dysästhesien
- Degenerative oder iatrogene Veränderungen im Bereich der Wirbelsäule
- Verdacht auf Bandscheibenvorfall
- Kontraindikationen für die Manuelle Therapie, Röntgen, Szintigraphie oder Kernspintomographie
- Patienten auf die oben genannte Einschlusskriterien nicht zutreffen

2.2 *Orthopädische Untersuchungen*

Alle Patienten wurden zunächst orthopädisch untersucht, um Ein- und Ausschlusskriterien zu überprüfen. Die Prozedur umfasste eine Anamnese, die Feststellung der Beweglichkeit, eine orientierende neurologische Untersuchung und den Ausschluss von etwaigen Kontraindikationen. Die Patienten wurden über die Existenz der Studie informiert. Sie wurden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sie jederzeit und ohne Nachteile befürchten zu müssen eine Teilnahme verweigern können. Der Ablauf wurde erläutert, und die Patienten wurden umfassend aufgeklärt.

2.3 *Physiotherapeutische Untersuchungen*

Neben der orientierenden Analyse von Statik und Beweglichkeit, stellte die manualtherapeutische Untersuchung der Halswirbelsäule den primären Anteil der Tätigkeit des Physiotherapeuten dar. Die Manuelle Medizin stellt einen Grundpfeiler der physiotherapeutischen Diagnosegewinnung und Therapie dar. [Wolf et al.] Die Diagnose einer segmentalen Hypomobilität wurde stets von dem gleichen Physiotherapeuten gestellt. Im folgenden werden die Diagnosetechniken dargestellt. Diese sind dem Buch „Udo Wolf – Angewandte Manuelle Therapie: Band 1“ entnommen.

2.3.1 Manualtherapeutische Untersuchung

Die Dokumentation der Befunde wurde nach folgendem Schema erfasst:

Manualtherapeutischer HWS Befund				
	Zielstruktur	Test	Seite	
Sitz			Rechts	Links
	Foramina Interv. Prov.	Spurling-Test + Kompr.		
	Gekoppelte Bewegung			
	Flex+lat Flex / rotation			
	Ext + lat Flex / rotation			
Rückenlage	Stabilitätstests		Rechts	Links
	Lig. Alaria	Steuerrad Test		
	Lig. Transversum	Modif. Sharp-Percher		
	Kopfgelenke	Traktion C0-C1		
	Weitere Tests			
	A. Vertebralis	De Kleyn Test		
	Lateraler Hypomob. Test	Einfädler Test		
	Nerven palpation	Ringling-Bell		
SL	Hypomobilitätstests			
	Gelenkspiel AP			
Einteilung: 0-6 0=keine Beweglichkeit / 3=normale Beweglichkeit / 6=völlig instabil				







Abbildung 2-2 Manualtherapeutischer HWS Befund

Der genaue Ablauf der Tests wird im Folgenden erläutert. Die Kürzel „Flex“ und „Ext“ stehen für Flexion und Extension, das Kürzel „lat“ für lateral.

Legende zu nachfolgenden Abbildungen:

Zeichenlegende

Blaue Pfeile repräsentieren Bewegungen, die der Therapeut passiv am Patienten ausführt.
Rote Pfeile repräsentieren Bewegungen, die der Patient aktiv ausführt.

	Fixierung durch den Therapeuten oder ein Hilfsmittel
	Passive Bewegung durch den Therapeuten
	Passive Weiterbewegung durch den Therapeuten im Anschluss an eine aktive Bewegung des Patienten
	Aktive Bewegung des Patienten
	Isometrische Anspannung des Patienten gegen den Widerstand (X) des Therapeuten
	Konzentrische Bewegung des Patienten gegen den Widerstand (X) des Therapeuten

Die Pfeile zeigen die Richtung der ausgeführten Bewegung an. Ihre Länge entspricht jedoch nicht der zurückgelegten Strecke der Bewegung, sondern zeigt lediglich die Tendenz des Bewegungsausschlages an.

Abbildung 2-3 Bilderlegende: Udo Wolf – Angewandte Manuelle Therapie: Band 1

2.3.2 Sicherheitstests

Um Kontraindikationen ausschließen zu können, sind für den Manualtherapeuten neben Anamnese, klinischer Untersuchung und dem Einblick in ein aktuelles Röntgenbild diverse Sicherheits- und Stabilisationstests unerlässlich.

2.3.2.1 *Spurling-Test mit Kompression*

Der Patient bewegt zunächst den Kopf aktiv in Extension kombiniert mit Lateralflexion und Rotation zu einer Seite. Wenn diese Position schmerzfrei eingenommen werden kann, übt der Therapeut vorsichtig eine Axiale Kompression aus. Dieses Vorgehen wird ebenfalls zur anderen Seite wiederholt.

Bei diesem Test werden die Foramina intervertebralia verengt. Sollte es hierbei zu ausstrahlenden Beschwerden in einen Arm kommen, spricht dieses für eine Irritation im Bereich der Nervenwurzel. Fällt dieser Test positiv aus, muss dringend eine neurologische Untersuchung durchgeführt werden.

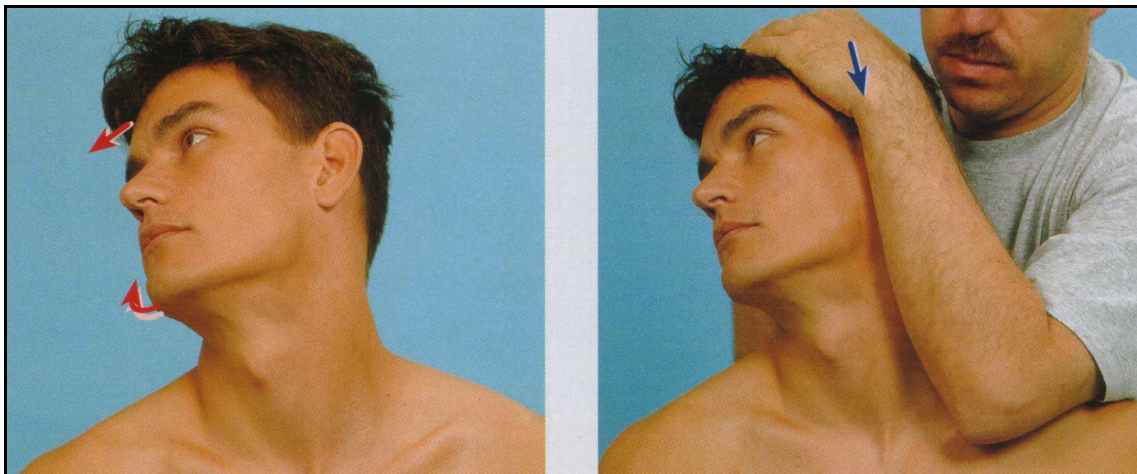


Abbildung 2-4 *Spurling Test mit Kompression*

2.3.2.2 **Steuerrad Test**

Der Therapeut palpiert den Processus spinosus des 2. HWK zwischen Daumen und Zeigefinger. Anschließend bewegt er den Kopf mit der anderen Hand in eine Lateralflexion. Bei intakten Ligg. alaria bewegt sich der Axis im Sinne einer Rotation zur gleichen Seite. Dabei bewegt sich der Proc. spinosus zur Gegenseite.

Bei einer Lateralflexion des Occiput muss der Axis sofort eine Rotation beschreiben. Bei fixiertem Axis ist bei intakten Ligg. alaria keine Lateralflexion des Kopfes möglich. Auch dieser Test wird zu beiden Seiten ausgeführt.

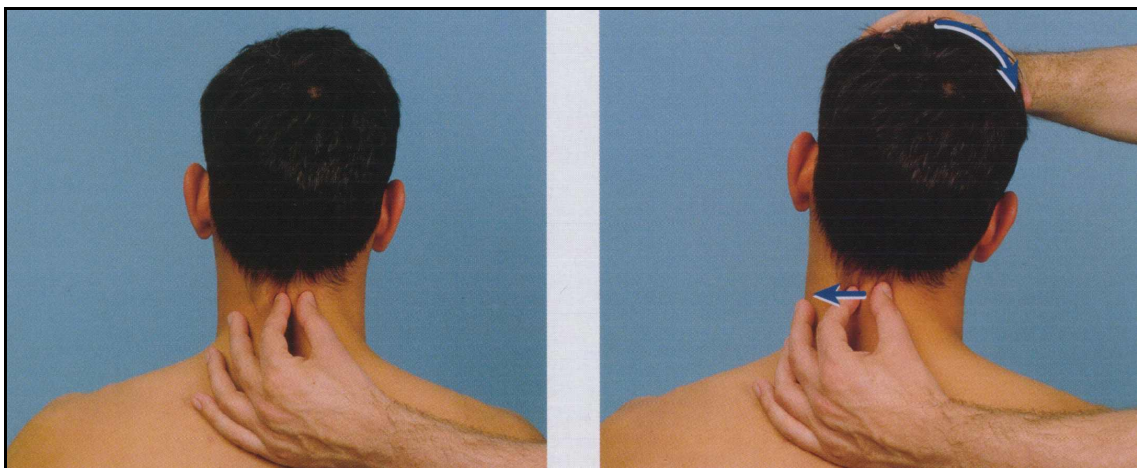


Abbildung 2-5 *Steuerrad Test im Sitz*

2.3.2.3 **Sharp-Percher Test**

Der Sharp-Percher Test dient zur Beurteilung des Lig. transversum. Zunächst bewegt der Patient den Kopf - soweit für ihn schmerzfrei möglich - in Flexion. Der Therapeut fixiert diese Position mit seiner Hand und Schulter. Anschließend schiebt er mit seiner anderen Hand den Dornfortsatz von C1 nach ventral.

Falls sich der Axis nach ventral verschieben lässt, und gleichzeitig die Symptome verschwinden, spricht dies für eine Instabilität des Lig. transversum. Ein solcher Befund stellt eine Kontraindikation für die manuelle Therapie dar.

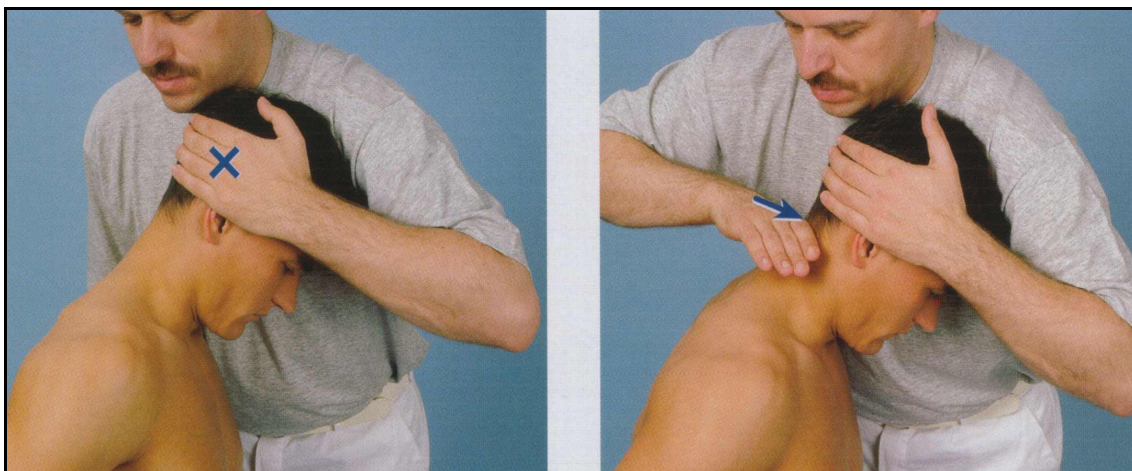


Abbildung 2-6 Sharp-Percer Test

2.3.2.4 De Kleyn Test

Die Arteria vertebralis ist wie bereits erwähnt eine sehr sensible Struktur im HWS-Bereich. Die Komplikationsrate mit Beeinträchtigung der A. vertebralis (der sogenannten vertebro-basilären-Insuffizienz) wird von den Autoren unterschiedlich angegeben. [Bischoff, Clubb, Refisch et al., Saxler et al.] Insgesamt bietet die medizinische Datenbank Medline über 500 Artikel, die sich mit diesem Thema auseinandersetzen. In unserem Falle ist die Analyse der Komplikationen bei Manipulativtherapie entscheidend. Die vertebrale Arterienverletzung stellt Patijn mit 65,1% an Platz 1 und zeigt das Gefahrenpotential auf. [Patijn]

Ebenfalls wird die Validität der verschiedenen Tests für diese Zielstruktur in der Literatur kontrovers diskutiert. [Bessler] Wir sind der Meinung, dass zur Steigerung der Patientensicherheit eine Testung vor jeder Behandlung der Halswirbelsäule erfolgen muss.

Bei dem Test nach De Kleyn befindet sich der Patient in Rückenlage, wobei sich Hals- und die obere Brustwirbelsäule über dem Bankende befinden. Der Therapeut bewegt nun den Kopf in Richtung Extension und ipsilateraler Rotation und Lateralflexion. Der Patient sollte laut bis 30 zählen, um eine Veränderung seiner Bewusstseinslage zu erkennen. Bei Symptomen wie Sprachstörungen, Nystagmus, Schwindel, Nausea oder Tinnitus, ist der Test sofort abubrechen. Ein pathologischer Befund stellt eine

Kontraindikation dar und muss mittels Doppler-Ultraschall Untersuchung weiter abgeklärt werden.



Abbildung 2-7 Test der Arteria Vertebralis nach De Kleyn

2.3.3 Diagnostik

Die Übersichtsdiagnostik prüft die physiologischen Bewegungen unter Berücksichtigung von Symmetrie und endgradigem Bewegungsanschlag (dem sogenannten Endgefühl). Es kann eine verminderte Mobilität (Hypomobilität) oder eine (oftmals kompensatorische) Hypermobilität einzelner Gelenke festgestellt werden. [Ernst et al.]

2.3.3.1 Gekoppelte Bewegung

Bei diesem im Sitz ausgeführten Test palpiert der Therapeut mit einem Finger eine Gelenkfacette von C2 – C6 und legt die andere Hand auf das Schädeldach auf. Nun bewegt er mit der cranialen Hand den Kopf in Richtung Extension (oder Flexion) und Lateralflexion.

Bei einer schmerzhaften Einschränkung in Extension und Lateralflexion spricht dies für eine Dysfunktion der ipsilateralen Facette. Ein Befund in Flexion und Lateralflexion spricht für das kontralaterale Gelenk.

Das Bewegungsausmaß der einzelnen Wirbelkörper zueinander kann variieren, da die einzelnen Gelenkflächen der Facettegelenke keineswegs identisch sind. Ebenfalls kann es durch verkürzte Schulter- oder Nackenmuskulatur zu Einschränkungen kommen.

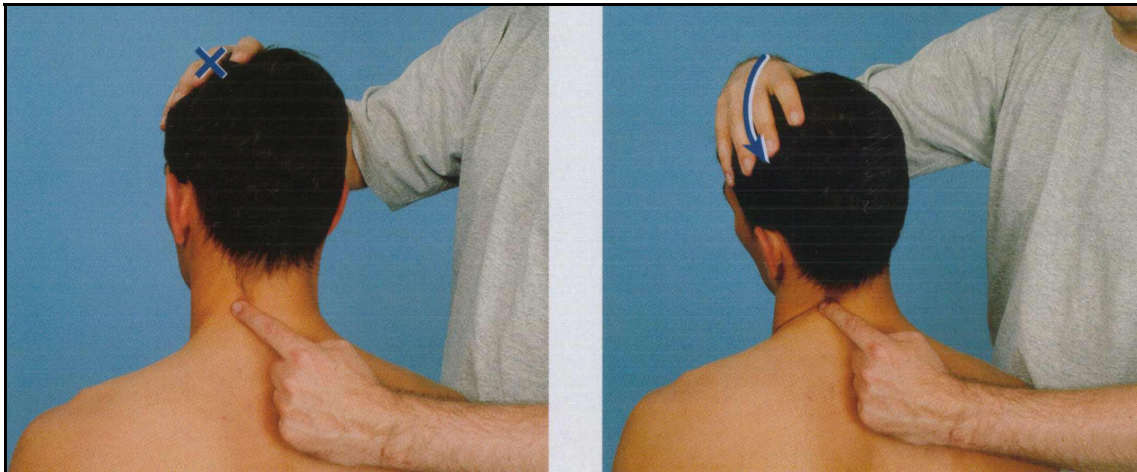


Abbildung 2-8 Gekoppelte Bewegung

2.3.3.2 Traktion C0 – C1

Die Kopfgelenke gehören zu den am häufigsten beeinträchtigten Gelenken der Halswirbelsäule. Der Therapeut fixiert den Kopf des Patienten zwischen seiner Hand und Schulter. Er führt eine axiale Traktion nach cranial aus, während der Zeigefinger der anderen Hand zwischen Proc. transversus atlantis und dem Occiput palpiert.

Bei der Traktion sollte ein kleines Gelenkspiel und keine laterale Verschiebung des Atlas über den Axis möglich sein. Bei einer einseitigen Hypomobilität stellt man ein seitendifferentes Gelenkspiel fest.



Abbildung 2-9 Traktion C0 – C1

2.3.3.3 Einfädler Test

Zur Beurteilung einer Hypomobilität wird der laterale Hypomobilitätstest verwendet. Ein Zeigefinger des Therapeuten fixiert die Lamina zweier angrenzender Wirbel von dorsal und lateral. Die andere Hand umfasst den Kopf flächig von der Seite. Beide Hände facilitieren nun eine Lateralflexion, wobei die caudale Hand einen Schub auf die gegenüberliegende Facette ausübt. Durch leichte Veränderung der Ausgangsposition in Extension oder Flexion kann die Seite der Störung erfasst werden.

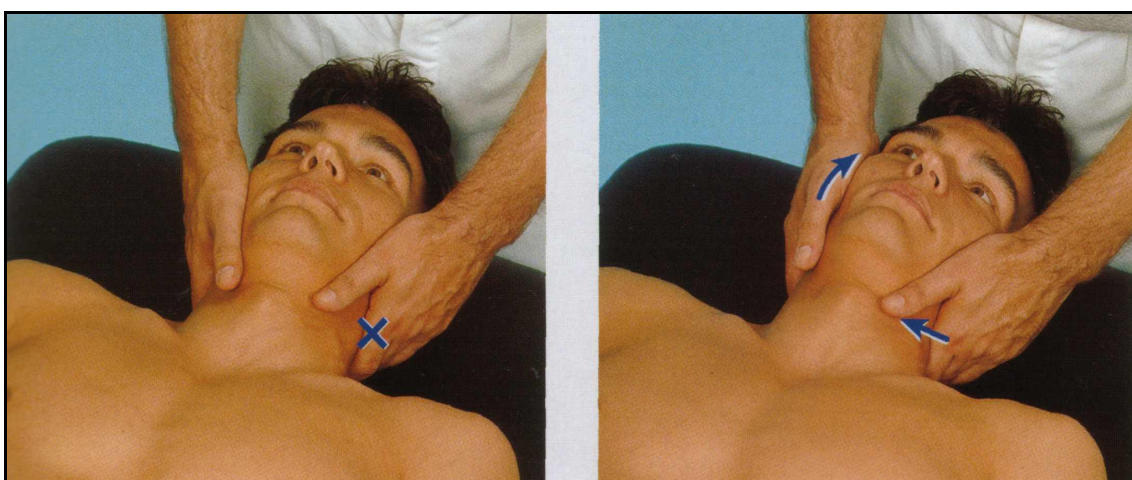


Abbildung 2-10 Lateraler Hypomobilitätstest

2.3.3.4 Gelenkspiel anterior – posterior

Dieser im Sitz – oder besser noch in Rückenlage – auszuführende Test gibt Aufschluss über das Gelenkspiel in Translation. Der Therapeut fixiert den Kopf zwischen einer Hand und seiner Schulter. Mit dem Zeigefinger seiner caudalen Hand palpiert er eine Gelenkfacette. Durch Schub nach dorsal und ventral übt er eine Translation aus, wobei der Finger das Gelenkspiel palpiert.

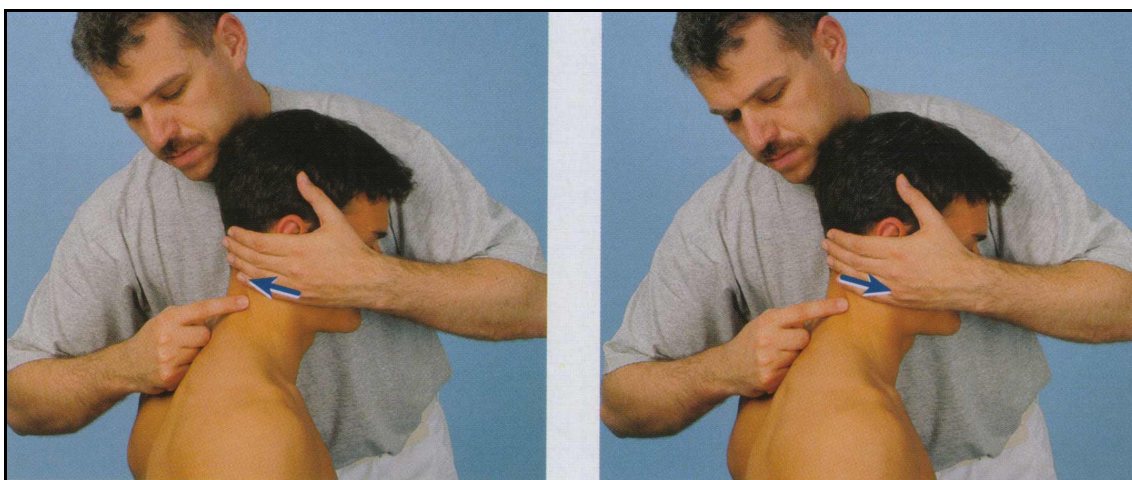


Abbildung 2-11 Gelenkspiel anterior – posterior im Sitz

2.4 Ultraschalltopometrie

Definitionsgemäß geht die Blockierung eines Wirbelsäulensegmentes mit einer eingeschränkten Beweglichkeit einher. Zur Objektivierung und Dokumentation dieser Bewegung wurde ein computergestütztes Vermessungsverfahren benutzt. Die Vorteile gegenüber anderen Messsystemen liegen in der schnellen Generierung von Messdaten, dem hohen Grad an Reliabilität und der optischen Darstellung der Bewegung. [Dvir et al., Malmstrom et al., Mannion et al., Somlenski et al., Vogt et al.] Ebenfalls ist es möglich, Aussagen über die Geschwindigkeit während des Bewegungsablaufes zu treffen. [Chen et al., Dvorak]

Die 3D-Echtzeit-Bewegungsanalyse erfolgte mit dem Messsystem CMS20S® der Firma Zebris Medizintechnik GmbH, Isny – Tübingen. Zur Messung der HWS-Bewegung wird dem Patienten ein Gestell am Kopf fixiert, an dem 3 Ultraschallsender angebracht sind.

Um Weiterbewegungen des Rumpfes von der Bewegung der HWS subtrahieren zu können, wird dem Patienten ein Referenzsender am Oberarm fixiert.

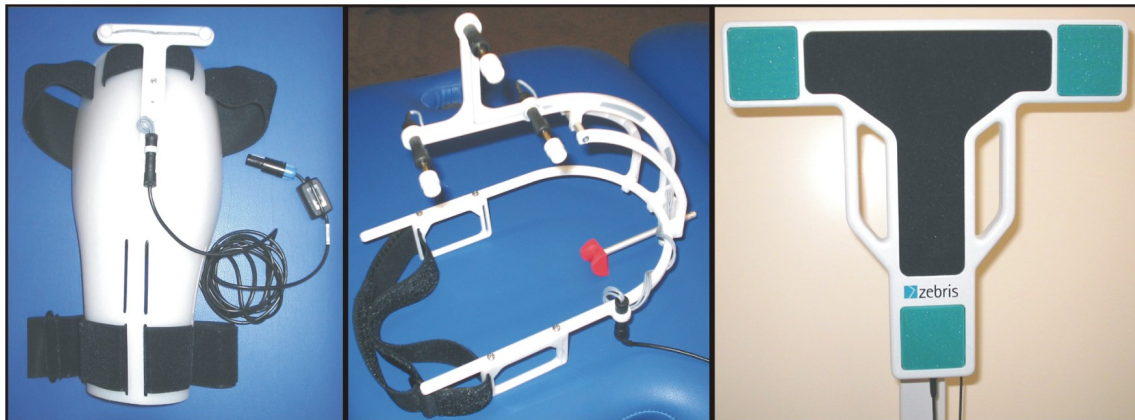


Abbildung 2-12 (von rechts nach links) Oberarmreferenzsender, Kopfgestell, Ultraschall Messaufnehmer

Die dreidimensionalen Messkoordinaten der Ultraschallmarker können von dem feststehenden Detektorkomplex mit einer Gesamtabtastrate von 200 Messungen pro Sekunde erfasst werden.

Das Messverfahren basiert auf der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen, die von Miniatursendern zu den drei im Messaufnehmer eingebauten Mikrofonen abgegeben werden. Die volldigitalisierte Aufbereitung der empfangenen Schallsignale gewährleistet eine Messgenauigkeit im Millimeterbereich.

Als Ausgangsstellung für die Messung wurde der freie Sitz gewählt, da dieser mit wenigen Fixierungen und Vorgaben einen hohen Grad an natürlicher Bewegung zulässt. Die Sitzfläche wird auf eine Höhe eingestellt, bei der ein Flexionswinkel der Kniegelenke von 110° entsteht. Die Unterschenkel stehen senkrecht auf dem Boden und die Knie werden in einem Abstand von 2 Patientenfüästen zueinander positioniert. Der Patient wird aufgefordert, sein Becken zu kippen und den Druck am ventralen Anteil seiner Tuba ischiadica zu spüren. Ein aufrechter Sitz soll eingenommen werden.

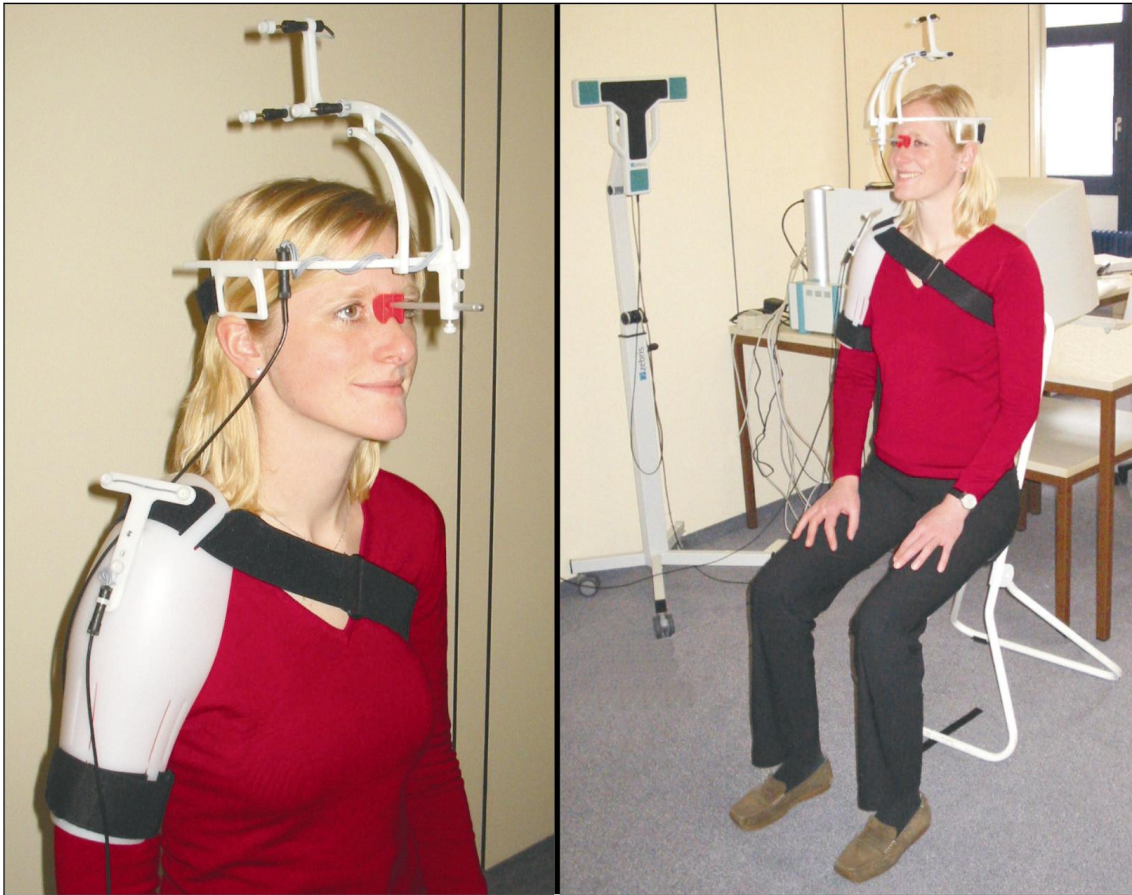


Abbildung 2-13 Ultraschallsenderanlage und Sitzposition bei der Bewegungsanalyse

Folgende Bewegungsanweisungen wurden dem Patienten ausgehändigt und vorgelesen:

Setzen Sie sich entspannt und aufrecht. Sie spüren zwei knöcherne Punkte, auf denen Sie sitzen. Kippen Sie das Becken leicht nach vorne, dass Sie vor diesen „Sitzhöckern“ sitzen. Fixieren Sie mit Ihrem Blick das schwarze Tastenfeld an der gegenüberliegenden Wand.

Bewegung 1

Bringen Sie das Kinn auf die Brust, soweit es geht. Verharren Sie dort kurz. Legen Sie den Kopf in den Nacken, soweit es geht, verharren Sie in dieser Position kurz. Führen Sie diese Bewegung drei mal aus.

Bewegung 2

Blicken Sie nach rechts, soweit es geht. Verharren Sie dort kurz. Blicken Sie nach links, soweit es geht. Verharren Sie in dieser Position kurz. Führen Sie diese Bewegung drei mal aus.

Bewegung 3

Blicken Sie während der nun folgenden Bewegung immer auf das schwarze Tastenfeld an der gegenüberliegenden Wand. Bringen Sie Ihr rechtes Ohr soweit es geht zur rechten Schulter. Verharren Sie dort kurz. Bringen Sie Ihr linkes Ohr Richtung linke Schulter, soweit es geht, verharren Sie in dieser Position kurz. Führen Sie diese Bewegung drei mal aus.

Bewegung 4

Bringen Sie das Kinn auf die Brust, soweit es geht. Verharren Sie dort. Blicken Sie aus dieser Kopfposition soweit es geht nach rechts. Verharren Sie kurz in dieser Position. Blicken Sie nun nach links soweit es geht. Verharren Sie dort kurz. Führen Sie diese Bewegung drei mal aus.

Bewegung 5

Legen Sie den Kopf in den Nacken, soweit es geht. Verharren Sie dort. Blicken Sie aus dieser Kopfposition soweit es geht nach rechts. Verharren Sie kurz in dieser Position. Blicken Sie nun nach links soweit es geht. Verharren Sie dort kurz. Führen Sie diese Bewegung drei mal aus.

Abbildung 2-14 Bewegungsaufträge für Ultraschalltopometrie

Die Untersuchung erfolgt in 5 Schritten.

- Der Patient liest alle Bewegungsaufträge.
- Der Therapeut liest die identischen Bewegungsaufträge noch einmal, während der Patient die Bewegungen ausführt.
- Am Ende jeder einzelnen Bewegung gibt der Patient sein subjektives Schmerzempfinden mit Hilfe der visuellen Schmerzskala und einem Schmerzfragebogen an.
- Die eigentliche Messung erfolgt nach dem gleichen Schema.
- Jede Bewegung wird noch einmal ohne Analyse durchgeführt, und die Schmerzparameter werden erneut erfasst.

2.4.1 Schmerzparameter

Eine visuelle Analog Schmerzskala diene der Objektivierung der vom Patienten empfundenen Schmerzen. Diese ist als Standard zur Schmerzobjektivierung wissenschaftlich etabliert. [Langley et al.] Desweiteren wurden Informationen über Lokalisation, Qualität und Zeitpunkt festgehalten.

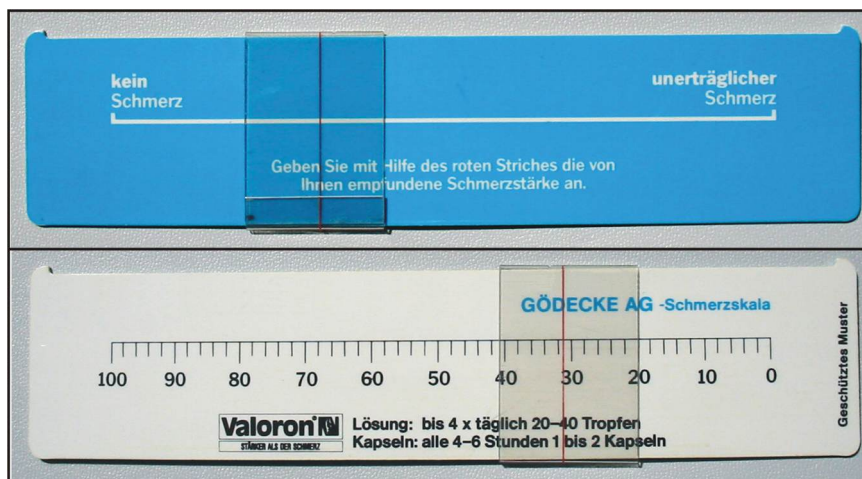


Abbildung 2-15 Visuelle Analog Schmerzskala

VOR ZEBRIS UNTERSUCHUNG					
	Visuelle Skala		Lokalisation	Qualität s.u.	Zeitpunkt Beginn, während, Ende
	Re	Li			
Flex/Extension					
Rotation					
Lateral Flexion					
Flex+Rotation					
Ext+Rotation					

NACH ZEBRIS UNTERSUCHUNG					
	Visuelle Skala		Lokalisation	Qualität s.u.	Zeitpunkt Beginn, während, Ende
	Re	Li			
Flex/Extension					
Rotation					
Lateral Flexion					
Flex+Rotation					
Ext+Rotation					

mögliche Schmerzqualitäten: Hell, dumpf, brennend, stechend, ziehend, drückend, oberflächlich, tief...

Abbildung 2-16 Schmerzfragebogen

2.4.2 Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit dem Computerprogramm WinSpine® der Firma Zebris. Aus dem kreierte Protokoll sind verschiedene Werte zu entnehmen. Eine genaue Information über die maximal mögliche Bewegung in Extension / Flexion, Rotation und Lateralflexion im Seitenvergleich enthält das Balkendiagramm „Range of Motion“ im oberen rechten Teil des Bildes. Die Balken 4 und 5 beschreiben die Rotation unter maximaler Flexion (Balken 4) bzw. maximaler Extension (Balken 5) der HWS (Kombinationsbewegungen). Die Normwerte für eine Bewegung der HWS (helle Zonen auf den Balken) hängen primär von Alter und der Vorschädigung der Wirbelsäule ab und wurden vom Programm automatisch generiert. [Castro et al.] Bei Patienten mit Zustand nach Schleudertrauma finden sich oftmals deutliche Einschränkungen in Extension und Flexion. [Dall'Alba et al.]

Aus den Koordinatendiagrammen ist zusätzlich noch die Geschwindigkeit jedes einzelnen Bewegungsablaufes zu entnehmen, sowie die Varianz der einzelnen Bewegungen zueinander. Vor allem die Interpretation der Geschwindigkeitscharakteristik ermöglicht weitere Aussagen über den Schmerzcharakter während der Bewegung. Patienten mit einer schmerzhaft eingeschränkten Bewegungsrichtung zeigen eine deutliche Verlangsamung der Bewegung – teilweise auch mit wellenförmigem Verlauf – kurz vor Erreichen des maximalen Bewegungsausmaßes.

Seite 2 des generierten Protokolls zeigt die Mit- oder Ausweichbewegungen der HWS bei einem definierten Bewegungsauftrag. Teilweise ist exakt eine Position im Ablauf der Bewegung für den Patienten nur unter Schmerzen einzunehmen. Um diese zu umgehen, nutzt er einen schmerzärmeren Bewegungsweg. So wird beispielsweise eine maximale Lateralflexion nicht auf direktem Wege aus der Neutralstellung eingenommen sondern über eine vermehrte Flexion.

Die Informationen über den Verlauf des Drehzentrums lässt sich der Seite 3 des Protokolls entnehmen.

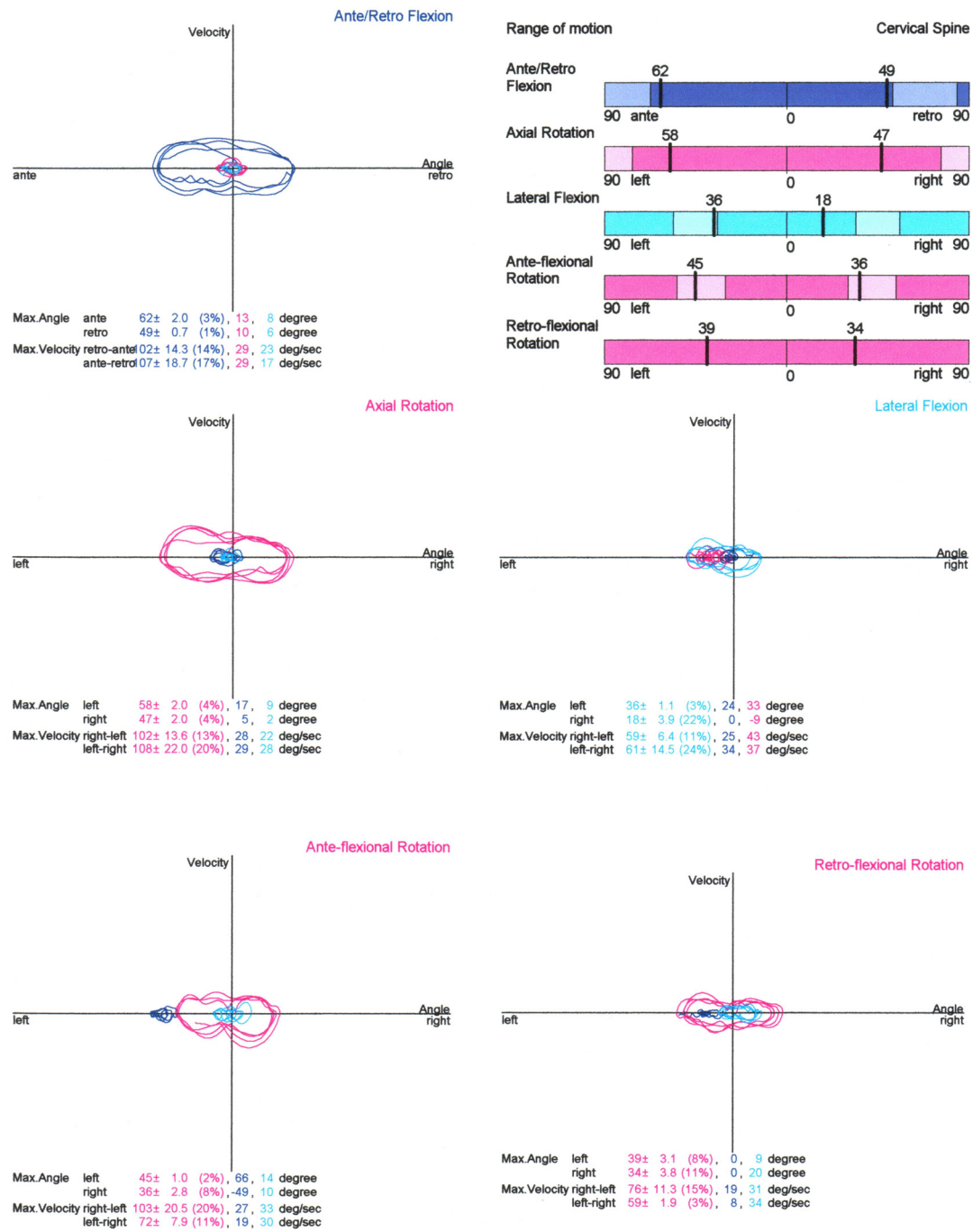


Abbildung 2-17 Zebris Untersuchungsprotokoll der HWS

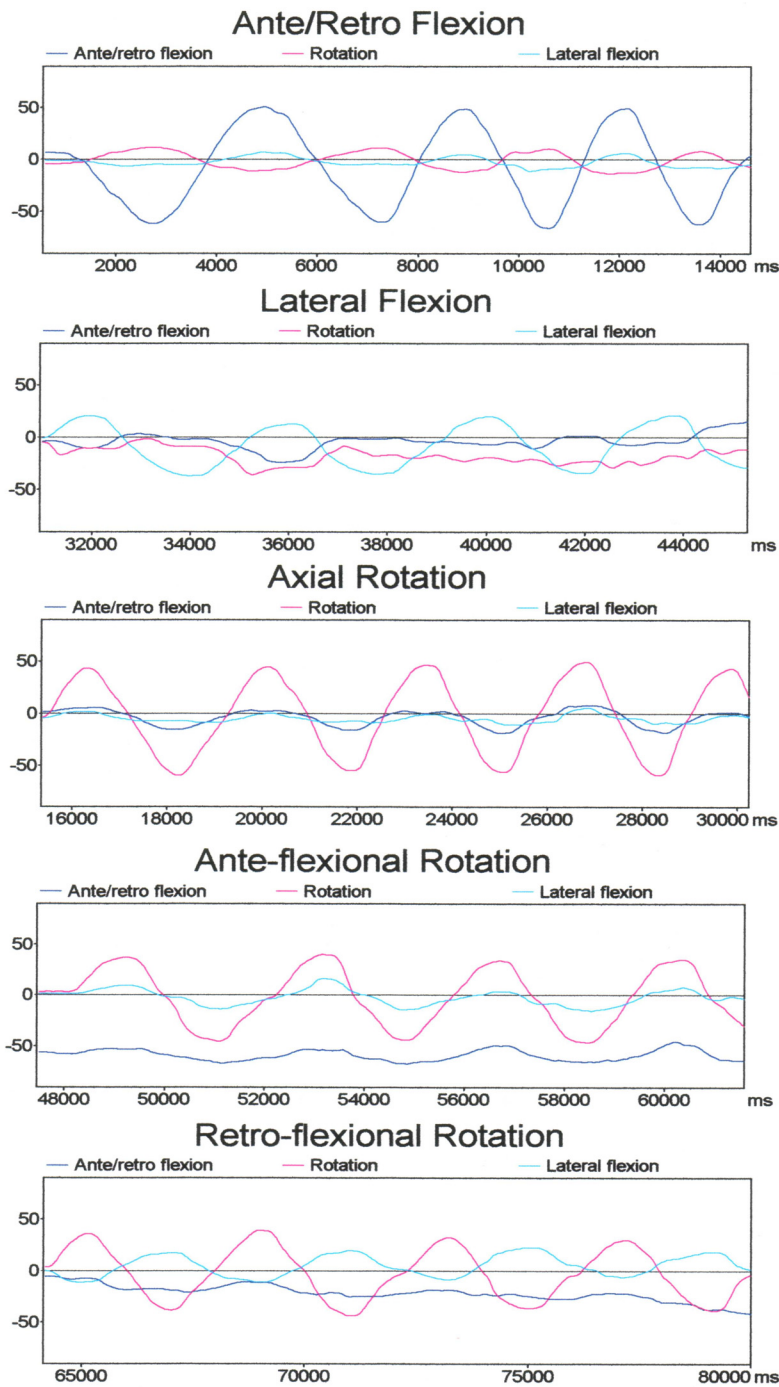


Abbildung 2-18 Zebris Untersuchungsprotokoll der HWS – Seite 2

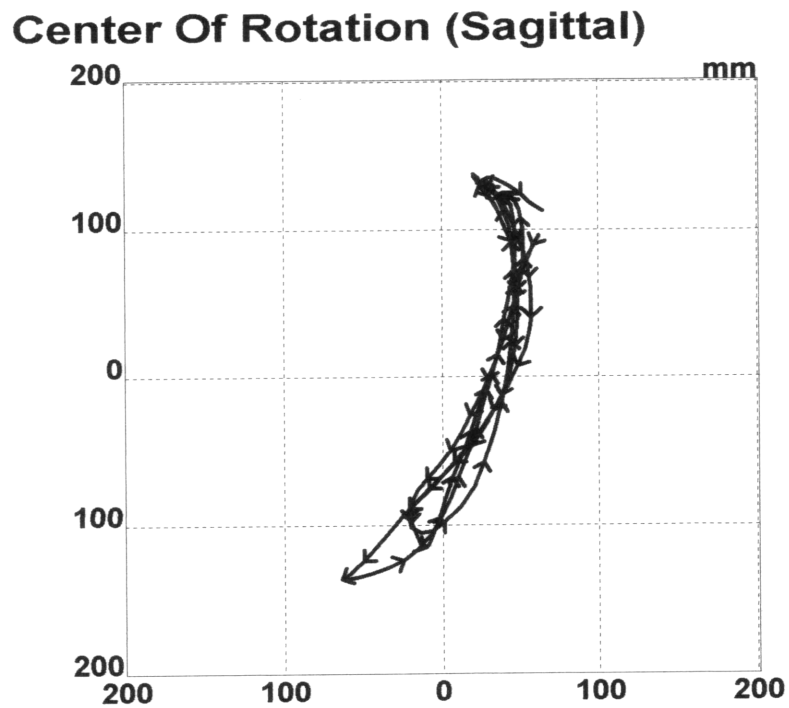


Abbildung 2-19 Zebris Untersuchungsprotokoll der HWS Seite 3 – Verlauf des Drehzentrums

2.5 *Radiologische Untersuchungen*

2.5.1 Röntgen

Im Rahmen der klinischen Routineuntersuchung wurden bei allen Patienten zwei Aufnahmen der Halswirbelsäule angefertigt. Eine Darstellung erfolgte von lateral, die andere im anterior – posterior Strahlengang. Die a.-p. Aufnahme erfolgte bei geöffnetem Mund , um eine Darstellung der Kopfgelenke zu ermöglichen.

Die klassische Röntgenaufnahme in 2 Ebenen ist eine obligate Untersuchung vor der Manipulation. Auch wenn die Aussagekraft begrenzt ist, ist eine Manipulation ohne vorherige Diagnostik kontraindiziert.

Die Energie der diagnostischen Strahlung beträgt bei dieser Untersuchung 66 kV bei 500 mAs als Belichtungsparameter. Die ungefähre Strahlenbelastung liegt bei 4 mSv. (Standard der Radiologischen Abteilung der Phillips-Universität Marburg)

Die Aufnahmen wurden von der Radiologischen Abteilung, dem behandelnden Orthopäden und dem Physiotherapeuten auf folgende Befunde überprüft::

- Stufenbildung
- Frakturzeichen
- Arthrosezeichen
- Pathologische Veränderungen des Knochens
- Atlas-Dens-Abstand
- Beschaffenheit der Facettegelenke
- Größe der Foramina Intervertebralis
- Höhe der Bandscheibenfächer

2.5.2 Kernspintomographie

Die Frage nach Bandscheibenvorfall, spinaler Enge, Spinalkanalstenose und Wassergehalt des Diskus intervertebralis wurde mittels Magnet-Resonanz-Tomographie geklärt. Zum derzeitigen Wissensstand gilt diese Untersuchung als „Gold Standard“ der anatomischen Bildgebung. Verschiedene native Gewichtungen und Sequenzen wurden in sagittaler und transversaler Auswertung genutzt:

Die „Turbospinechosequenz“ verkürzt die Messzeit durch das Auslesen mehrerer Echos nacheinander, ist aber anfälliger gegenüber Magnetfeldinhomogenitäten und stellt weniger Gewebskontrast dar.

Die „T1 Wichtung“ ist durch kurze Repetitionszeit und kurze Echozeiten charakterisiert. Nach Abschalten des Impulses richten sich die Kernspins wieder entlang des äußeren Magnetfeldes aus und geben dabei Energie in Form von Wärme an die Umgebung ab. Dieser Prozess der Wiederausrichtung hängt wesentlich von der Wärmeleitfähigkeit des Gewebes ab. Gewebe mit schnellem Wärmetransfer (z.B. Fettgewebe) stellen sich in T1-gewichteten Bildern hell dar, Gewebe mit langsamem Wärmetransfer dunkel (z.B. Liquor).

Die „T2 Wichtung“ misst einen weiteren Aspekt. Mit dem Ausschalten des Hochfrequenzimpulses verlieren die Atomkerne auch ihre phasensynchrone Kreiselbewegung. Der damit verbundene Rückgang der Transversalmagnetisierung wird als T2-Relaxation bezeichnet. Gewebe, die eine Transversalmagnetisierung relativ lange aufrechterhalten können, stellen sich in T2-gewichteten Bildern hell dar (z.B. Wasser). Der Flüssigkeitsgehalt der Bandscheibe ist hiermit am Besten zu beurteilen.

Einzelne transversale Darstellungen bilden exakt den Abstand des im Zentralkanal befindlichen Myelons zu den knöchernen Strukturen ab. Eine Spinalkanalstenose oder ein Bandscheibenprolaps lassen sich mit dieser Bildgebung diagnostizieren. Die sagittale Darstellung ermöglicht eine Beurteilung einzelner Bandscheibenfächer und würde ebenfalls Spinalkanalstenosen demaskieren.

2.6 *Nuklearmedizinische Untersuchungen*

2.6.1 **Mehrphasenszintigraphie**

Zur Erstellung der Mehrphasenszintigramme wurde eine Ganzkörper-Gammakamera (BODYSCAN®) der Firma Siemens Medical Systems verwendet. Da durch die Vorschaltung des Kollimators nur senkrecht einfallende Strahlen von den Kristallen in Lichtblitze umgewandelt werden, kann jedem Signal ein eindeutiger x- und y-Wert zugeordnet werden. Eine Detektoreinheit befindet sich unterhalb der Liege, eine zweite höhenverstellbar über dem Patienten. Um eine möglichst genaue Darstellung zu erhalten, wird der Abstand des oberen Detektorkomplexes zum Patienten auf ein Minimum reduziert. Hieraus ergibt sich ein zweidimensionales Bild, dass die Darstellung von anterior und von posterior erlaubt.



Abbildung 2-20 Ganzkörper Gammakamera BODYSCAN®

2.6.1.1 Frühphase

Simultan zur Injektion des Radiopharmakons beginnt die eine Minute andauernde Funktionsszintigraphie mit einer Bildfrequenz von 2 pro Sekunde. Die Kameras befinden sich während dieser Zeit in einer statischen Position über der zu befundenden Region. Hierdurch kann eine Aussage über die arterielle Durchblutung getroffen werden. Für alle Patienten wurde ^{99m}Tc -HDP mit einer Aktivität von 555 MBq verwendet. Die 120 entstehenden Aufnahmen werden zu 8 Bildern á 64 x 64 Pixel zusammengefasst. Die nachstehende Bildfolge zeigt die intravenöse Injektion mit nachfolgender Verteilung im Körper.

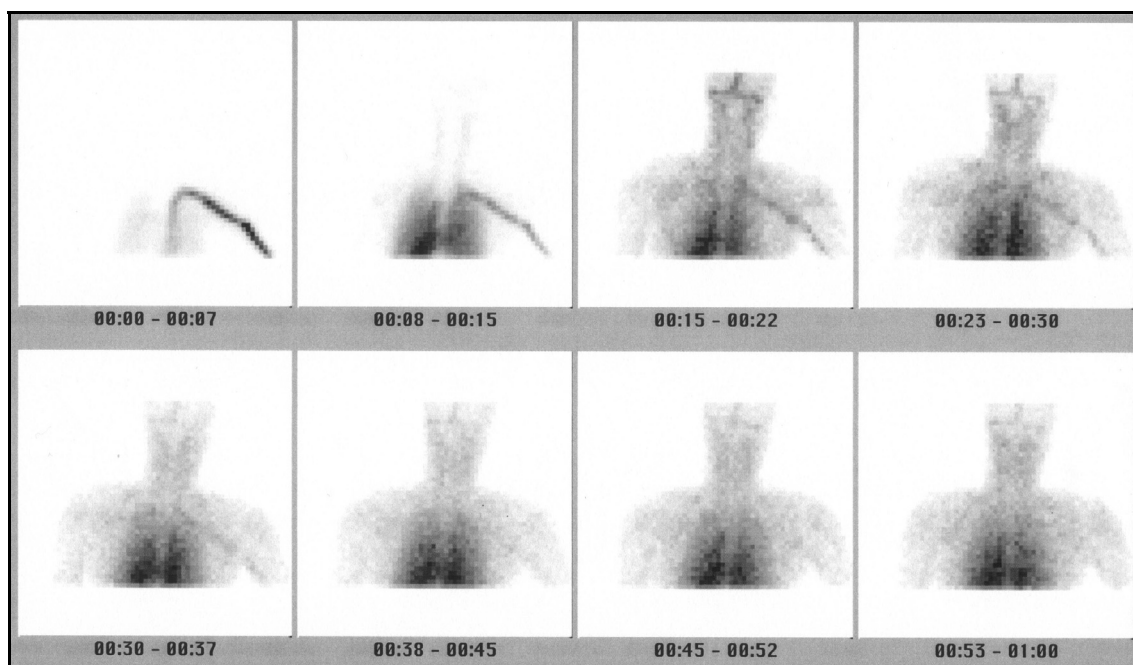


Abbildung 2-21 Perfusionsszintigraphie

2.6.1.2 Blutpool

Die anschließend angefertigte Blutpoolszintigraphie, erfolgt zu dem Zeitpunkt, wenn das Radiopharmakon bereits arteriell verteilt wurde und bis in das venöse System diffundiert ist. Somit kann eine Aussage über die venöse Durchblutung gemacht werden. Um auch hier eine noch genauere Informationen über die „region of interest“ zu erhalten, wurde in dieser Phase zunächst eine Detailaufnahme der Halswirbelsäule

mit einer „Zählrate“ (Counts) von einer Millionen bei einer Auflösung von 256 x 256 Pixel angefertigt.

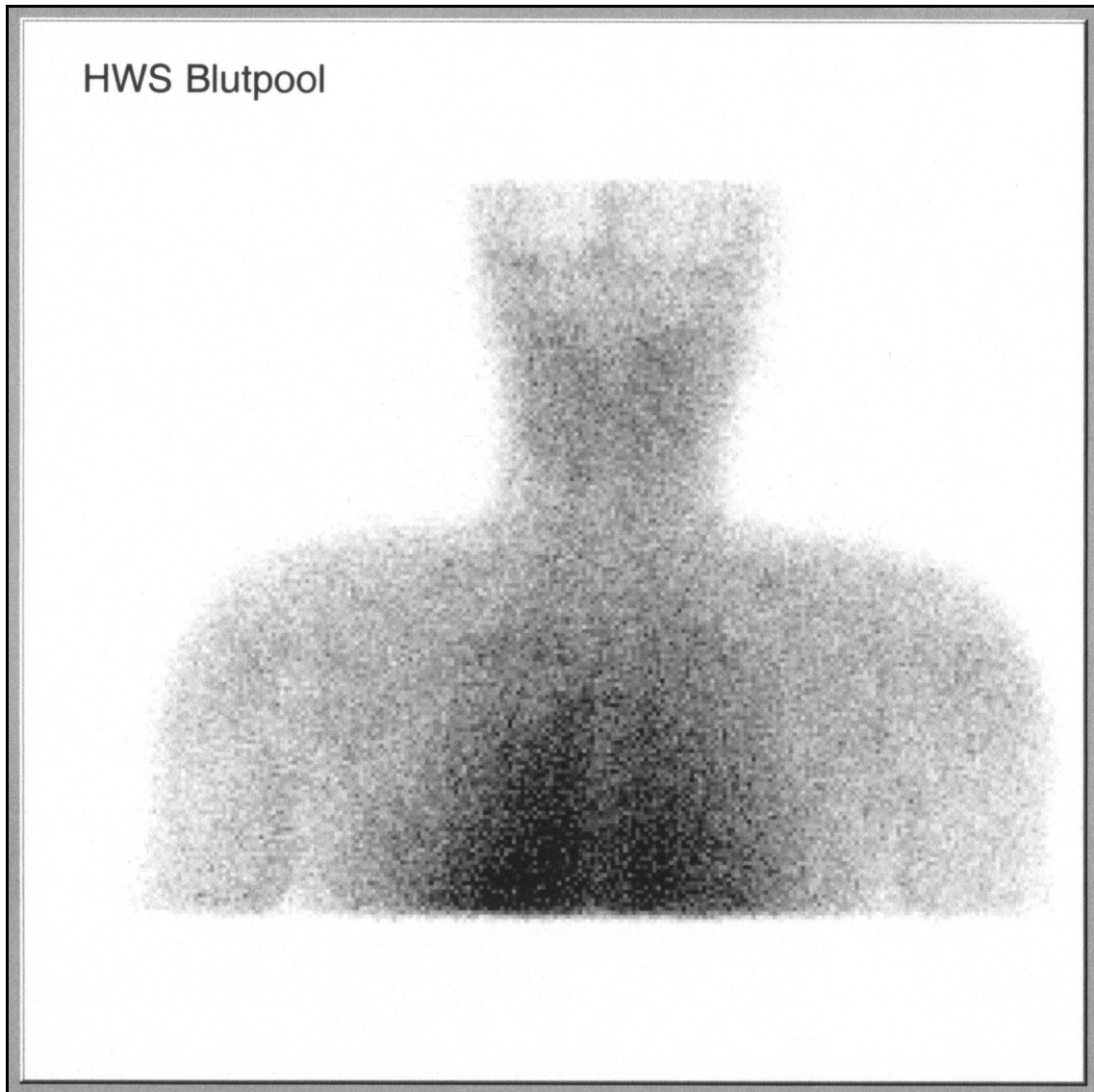


Abbildung 2-22 Blutpoolaufnahme der HWS

Bei der anschließenden Aufnahme des Ganzkörperblutpools wurde der Körper mit einer Geschwindigkeit von 30 cm pro Minute gescannt.

Aufgrund der Durchblutung können Rückschlüsse auf die Art der Erkrankung gezogen werden. Eine entzündliche Veränderung sollte sich aufgrund der gesteigerten Gefäßpermeabilität in beiden Phasen manifestieren.

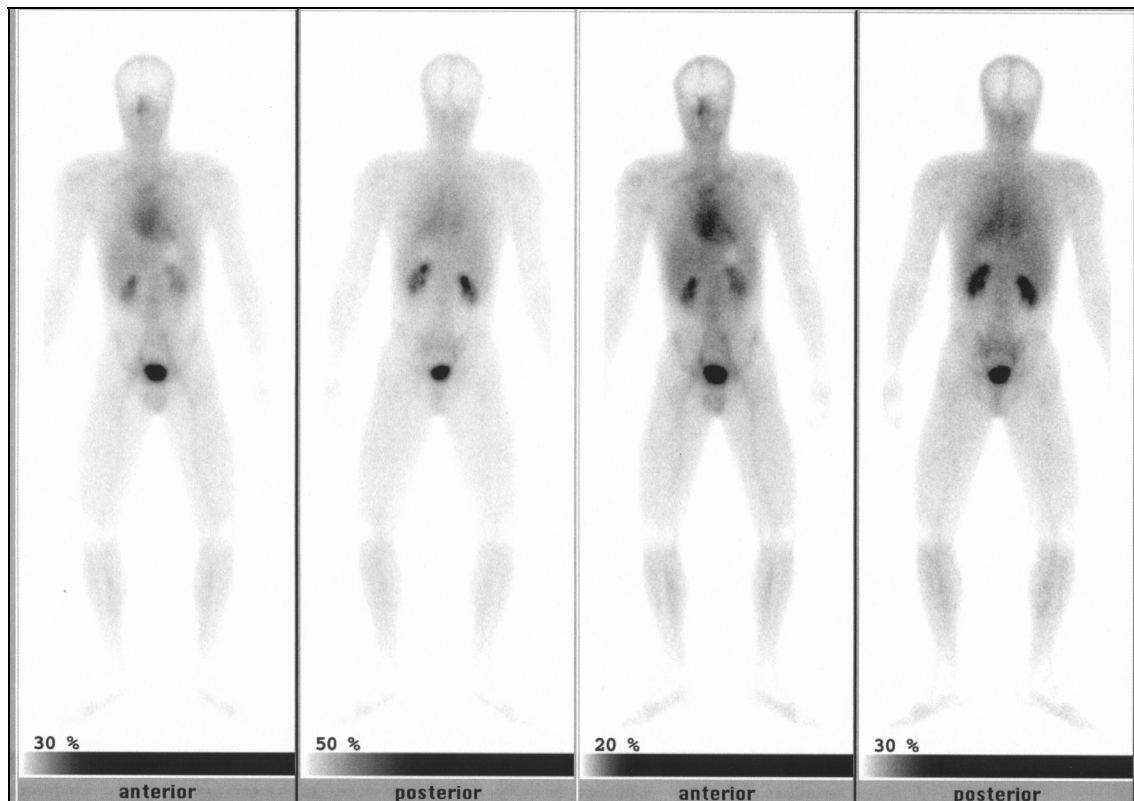


Abbildung 2-23 Ganzkörperblutpoolaufnahme

2.6.1.3 Spätphase

Zur abschließenden Darstellung des angelagerten Radiopharmakons wird in der Mineralisationsphase ein Ganzkörperszintigramm durchgeführt. Die Kameras scannen dabei mit der Geschwindigkeit von 15 cm pro Minute den Patienten. Die Auflösung beträgt 128 x 128 Pixel. Diese Untersuchung kann frühestens 2 Stunden nach Injektion des ^{99m}Tc -HDP angefertigt werden. Um die Ausschwemmung des nicht eingelagerten radioaktiven Materials zu erhöhen, soll der Patient mindestens 0,75 Liter Flüssigkeit zu sich nehmen und die Blase möglichst oft entleeren.

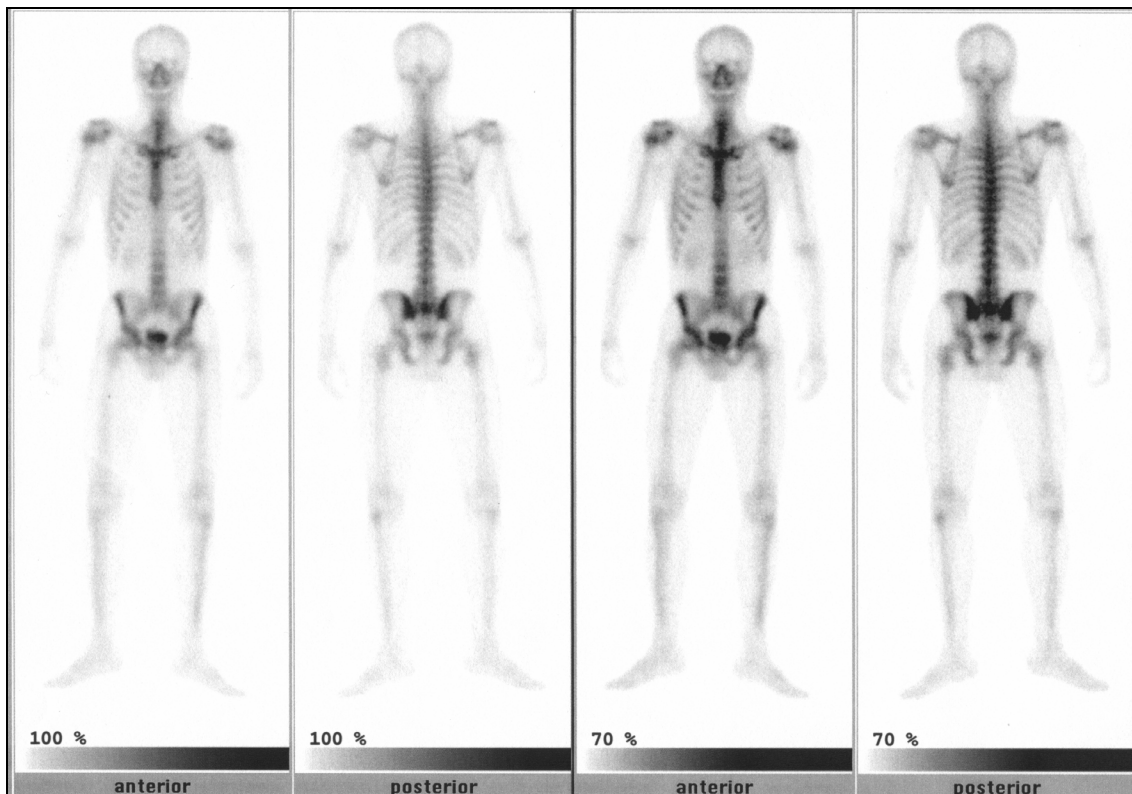


Abbildung 2-24 Planare Ganzkörperaufnahme in der Mineralisationsphase

Auch hier ist es möglich, Detailaufnahmen anzufertigen. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, ist es bei einer Detailaufnahme der HWS leider nicht möglich, kleine Strukturen wie z. B. die Facettegelenke zu identifizieren. Eine nachfolgende Untersuchung mit der Single-Photon-Emission-Computertomographie ist unerlässlich, um über diese Strukturen eine Aussage treffen zu können.

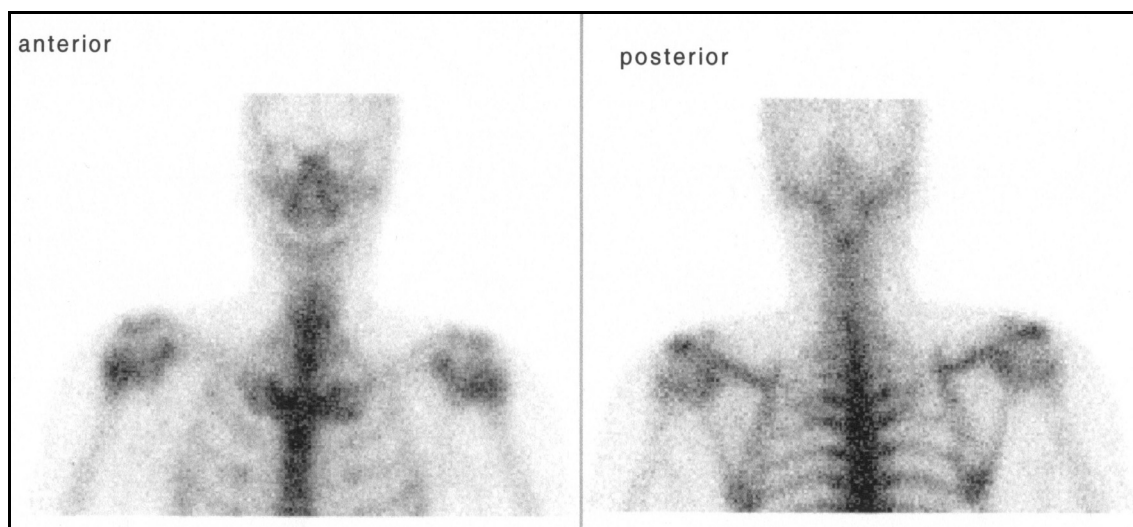


Abbildung 2-25 Detailaufnahme der HWS in der Mineralisationsphase

2.6.2 SPECT

Eine erweiterte diagnostische Aussagekraft bietet sich durch das Single-Photon-Emission-Computertomogramm (SPECT). Diese Schnittbildtechnik ermöglicht einen Zuwachs an Detailgenauigkeit von über 30%. Es können überlagerungsfreie Bilder in axialer, coronarer und sagittaler Schnittführung erstellt werden. [Holder et al.]

2.6.2.1 Gewinnung der Rohdaten

Bei allen Patienten wurde die 3-Kopf-Kamera MULTISPECT 3[®] der Firma Siemens Medical Systems verwendet. Während der Aufnahme kreisen die drei Detektorkomplexe die kompletten 360° in Schritten zu jeweils knapp 6° um den Patienten. Die Aufnahmedauer beträgt bei 64 Positionen und jeweils 30 Sekunden pro Position zirka 40 Minuten für insgesamt 192 Bilder. Zur Minimierung von Streustrahlung wurden LEHR (Low Energy High Resolution) Kollimatoren eingesetzt, die eine Aufnahmematrix von 128 x 128 Pixeln erlauben. Da die Schultern sich ebenfalls im Detektionsgebiet befinden, wurde die Einstellung „Circular“ gewählt, bei der die Köpfe nicht an den Patienten heranfahren.



Abbildung 2-26 3 Kopf Gammakamera MULTISPECT 3®

2.6.2.2 Rekonstruktion und Bearbeitung der Daten

Bei der tomographischen Rekonstruktion wird das dreidimensionale Objekt durch zweidimensionale Bilder dargestellt. Dabei sind zunächst nur die Projektionen durch das Objekt aus den vorgegebenen Winkelpositionen bekannt. Kleine Fehler in der Projektion können große Auswirkungen bei der späteren Rekonstruktion haben. Die erfassten Strahlen stehen in keinem linearen Zusammenhang mit der Aktivität im Gewebe, da die Gammaquanten auf dem Weg durch den Körper absorbiert und gestreut werden. Ebenfalls kommt es aufgrund des ständigen radioaktiven Zerfalls zu einem deutlichen Hintergrundrauschen. Klinisch haben sich 2 Verfahren der Rekonstruktion etabliert.

2.6.2.3 *Gefilterte Rückprojektion*

Um ein zweidimensionales Bild zu rekonstruieren, werden die Projektionen der Objektpunkte aus verschiedenen Winkeln in eine Bildmatrix umgesetzt. Das so erhaltene Bild enthält zwar einen hohen Informationsgehalt am Ort der Punktquelle, diese wirkt aber gleichzeitig durch den Vorgang der Rückprojektion verbreitert. Da die Aktivität einer strahlenden Quelle nach der Gesetzmäßigkeit $1/r$ abnimmt, erscheint der eigentliche Punkt ebenfalls verschwommen. Benachbarte Quellen überlagern sich aus den verschiedenen Aufnahmeperspektiven. Die hierdurch entstehenden Verzerrungen versucht man durch entsprechende Filter zu minimieren. Der „Cutoff“ wurde als Standard mit 0,36 angegeben. Ziel einer solchen Filterung ist es, dass Hintergrundrauschen zu reduzieren. Tatsächlich aber kommt es bei diesen Verfahren zu einem Verlust an Ortsauflösung und Bildkontrast.

2.6.2.4 *Iteratives Verfahren*

Das iterative Verfahren ermittelt die Aktivitätsverteilung im Objekt durch schrittweise rechnerische Annäherung. Es werden ständig die errechnete Verteilung und die gemessenen Projektionen verglichen und nötigenfalls korrigiert. So entsteht nach und nach eine Näherung an die tatsächliche Aktivitätsverteilung. Dieses Verfahren bezieht ebenfalls szintigraphische Gesetzmäßigkeiten wie z. B. die Schwächung von Pixel zu Pixel ein. Auch können Faktoren wie die Divergenz des Objektstrahles und der Anteil der Streustrahlung mit einberechnet werden. Grundsätzlich wird die tatsächliche Verteilung im Objekt durch das iterative Verfahren besser wiedergespiegelt. Störende Sternartefakte treten bei diesem Verfahren nicht auf. Eine genaue Lokalisation der Zwischenwirbelgelenke ist deutlich besser möglich. [Starck et al.]

Besondere Vorteile zeigen sich bei:

- Hohem Hintergrundrauschen
- Kleiner Anzahl von Winkelschritten
- Schlechter Zählstatistik

Da bei den mit beiden Verfahren rekonstruierten Bildern stets das Iterative eine höheres Maß an Detailgenauigkeit zeigte, wurde dieses zur weiteren Analyse benutzt.

2.6.2.5 Auswertung

Für die Auswertung der Daten stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. In beiden Rekonstruktionsverfahren lässt sich ein beliebiger Punkt exakten Koordinaten in allen drei Ebenen zuordnen.

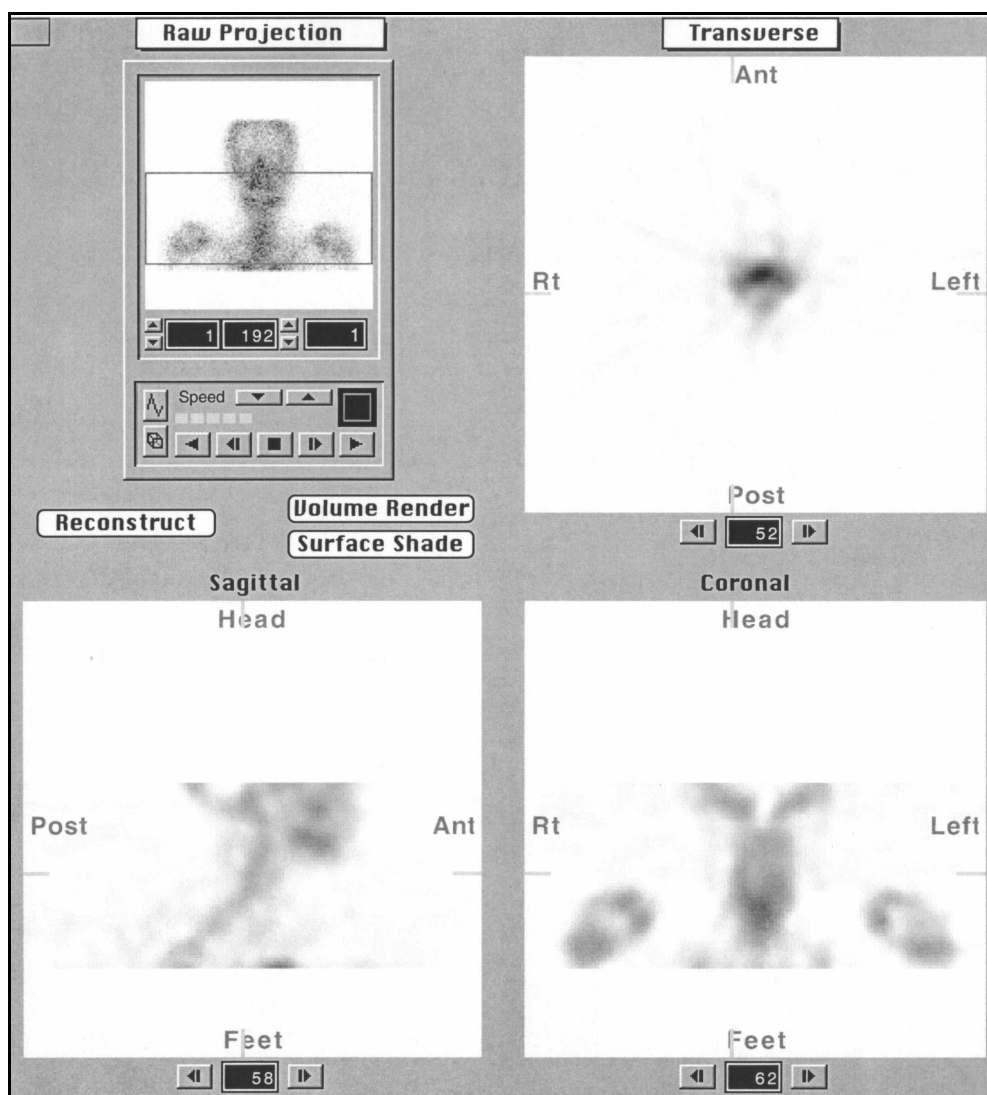


Abbildung 2-27 SPECT Auswertung in drei Ebenen

Ebenfalls ist es möglich, coronare, sagittale und transversale Schnitte anzuzeigen. Speziell in der transversalen Bildfolge lassen sich Seitendifferenzen in den Zygapophysialgelenken abschätzen.

Um eine quantitative Aussage über die verschiedenen Schnitte treffen zu können, werden die Facetteregionen der gesamten Halswirbelsäule genau analysiert. Hierzu werden im Bereich der Facettengelenke rechts und links eine ROI (Region of Interest) eingezeichnet und verglichen. Die Software zeigt die Anzahl der analysierten Pixel an und berechnet die maximal und minimal gemessene Anzahl der Counts pro Pixel sowie deren Mittelwert an. Die Ratio gibt das Verhältnis zweier identisch großer Regionen zueinander an und kann anschließend berechnet werden.

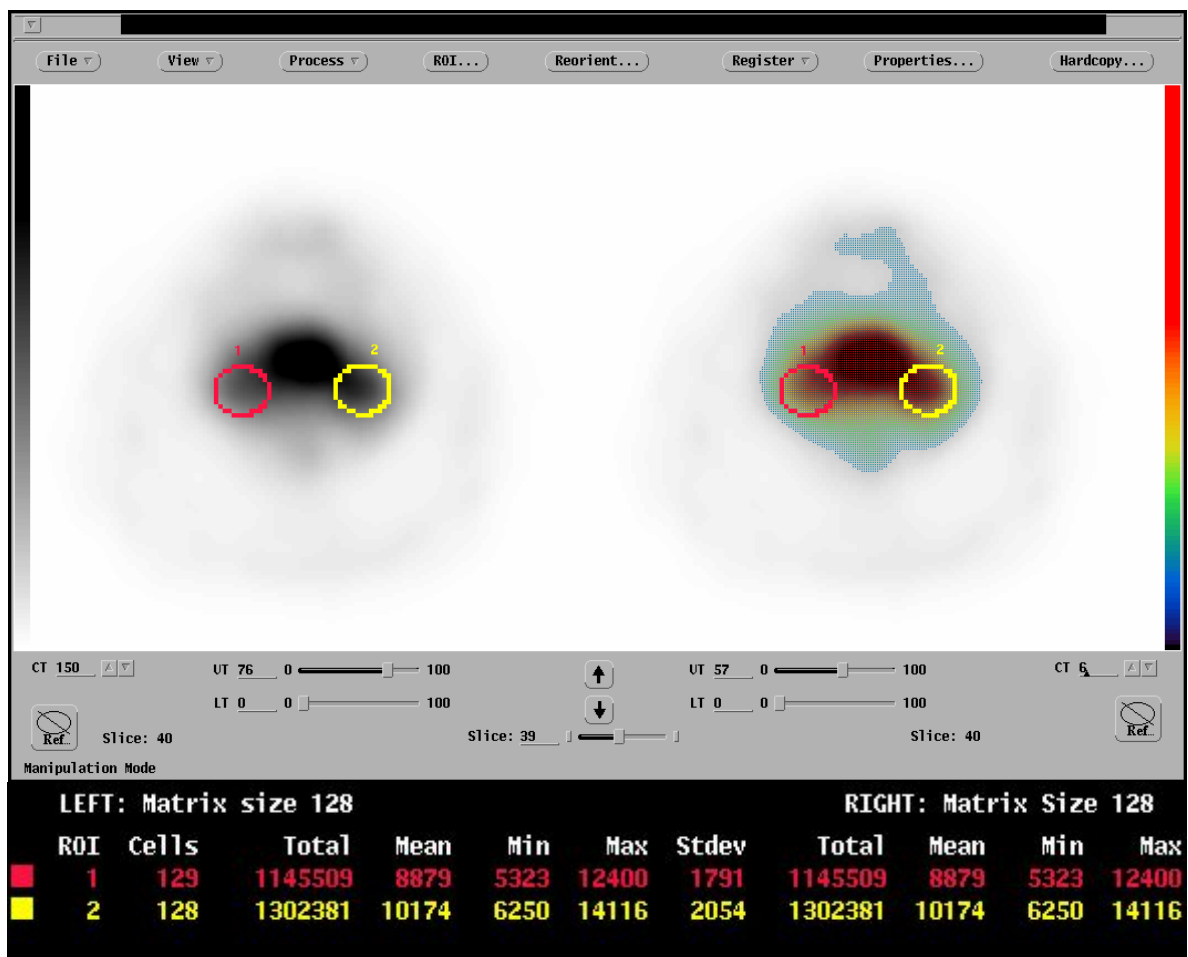


Abbildung 2-28 Vergleichende Analyse zweier Zygapophysialgelenke

Auf diese Weise entstehen – individuell unterschiedlich – vom Os occipitale bis zum ersten Brustwirbel 26 bis 34 Schnitte auf die sich die 8 Zwischenwirbelgelenke aufteilen. Mit Hilfe der sagittalen Bilder ist es möglich, einem Schnittbild genau einen Zwischenwirbelraum zuzuordnen. Das komplette Gelenk mit beiden Gelenkpartnern stellt sich meist auf 2-3 Schnitten dar. Das Verhältnis von rechts zu links wird graphisch dargestellt. In folgendem Fall hat das rechte Facettegelenk in Schnitthöhe 8 (beim Patienten C2 – C3) einen um 31,2% höheren Uptake als das linke.

Schnitt	Höhe	Rechts		Links		Ratio	Ratio -1
		Pixel	Mean	Pixel	Mean		
1	01	190	4563	188	4464	1,022177419	0,022177419
2		190	5212	188	4811	1,083350655	0,083350655
3		190	5209	188	4560	1,142324561	0,142324561
4	12	190	5328	188	4494	1,185580774	0,185580774
5		163	4446	163	4136	1,074951644	0,074951644
6		163	5256	167	4658	1,12838128	0,12838128
7		163	5634	167	4762	1,183116338	0,183116338
8	23	163	6176	172	4705	1,312646121	0,312646121
9		163	6464	172	5262	1,228430255	0,228430255
10		163	6432	172	6143	1,047045418	0,047045418
11		163	7279	172	7216	1,008730599	0,008730599
12	34	163	7942	172	7410	1,071794872	0,071794872
13		163	8114	167	7374	1,10035259	0,10035259
14		163	8299	167	8174	1,015292391	0,015292391
15		163	8627	170	8466	1,019017245	0,019017245
16	45	165	8082	163	8434	0,958264169	-0,041735831
17		165	9209	163	8948	1,029168529	0,029168529
18		165	10613	163	9984	1,063000801	0,063000801
19	56	170	10633	166	9792	1,085886438	0,085886438
20		170	11099	166	11028	1,006438157	0,006438157
21	67	170	12153	166	11554	1,051843517	0,051843517
22		167	12192	166	12228	0,997055937	-0,002944063
23		167	12868	166	12392	1,038411879	0,038411879
24	71	167	13048	166	12518	1,042339032	0,042339032
25		166	12747	170	11928	1,068661972	0,068661972
26		166	13831	170	12485	1,107809371	0,107809371

*Tabelle 2-1 Datentabelle der Seitenvergleichenden SPECT –
Auswertung von Pat. 20*

Die dargestellten Uptakeverhältnisse lassen sich graphisch darstellen. Bei orientierender Betrachtung fällt eine „3er – Konstellation“ (größte Seitendifferenz in der Mitte - einender Schnittbilder 3-5 oder 7-9 auf. Diese ist absolut typisch für Zwischenwirbelgelenke und ist im Verlauf der HWS oftmals zu erkennen. Die geringere Differenz der Nachbarschnitte ist vermutlich auf die höhere Knochenmasse – und der damit verbundenen Kraftverteilung – der Wirbelbögen zurückzuführen.

Die Receiver operating curve (ROC-Kurve) ermöglicht eine Variation des Schwellenwertes zu Gunsten der Sensitivität oder der Spezifität. Für die Beurteilung wurden alle Seitendifferenzen größer 0,2 als auffällig bewertet.

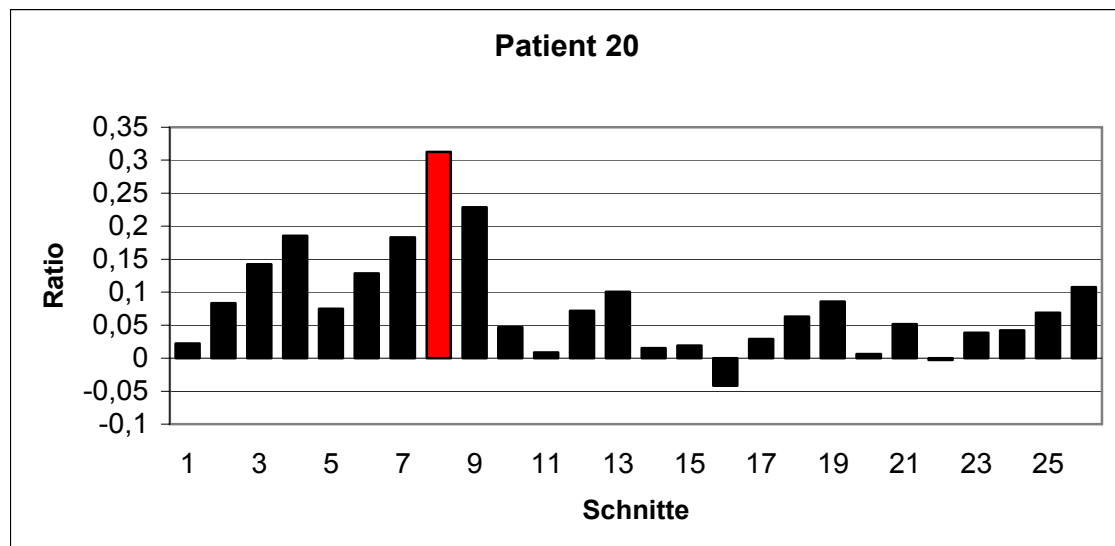


Abbildung 2-29 Graphische Darstellung der Verhältnisse rechts zu links über die HWS

2.6.3 Aussagekraft

Der Knochen reagiert auf unterschiedliche Läsionen unspezifisch mit verminderter oder gesteigerter Umbauaktivität. Die Skelettszintigraphie ist ein sehr sensitives aber wenig spezifisches Verfahren. Pathologische Befunde müssen noch mit anderen bildgebenden oder klinischen Verfahren verglichen werden. [Gratz et al.]

Geeignet ist die Skelettszintigraphie:

- Zum Tumor- und Metastasennachweis
- Zum Nachweis entzündlicher Skelett und Gelenkerkrankungen
- Bei Frakturverdacht
- Zur Differentialdiagnose zwischen frischen und alten Frakturen
- Zum Nachweis von degenerativen Vorgängen
- Zum Beweis arthritischer Veränderungen in den Facettegelenken

2.7 *Statistische Tests*

Die nachfolgenden statistischen Tests fordern eine Normalverteilung der Daten. Diese wird mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests bewiesen.

Der Cohens Kappa-Koeffizient basiert auf dem beobachteten Anteil übereinstimmender Beurteilungen. Die Summe der Zellhäufigkeiten in der Hauptdiagonale der Kontingenztafel ergibt die Anzahl übereinstimmender Beurteilungen, während die Summe aller anderen Zellhäufigkeiten der Anzahl nicht übereinstimmender Beurteilungen entspricht. Mit signifikanter Datenlage ist bei einem Wert über 0,7 zu rechnen.

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson ist ein Maß für den Grad eines statistischen linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Er basiert auf der Annahme intervallskalierter Variablen, die bivariat normalverteilt sind.

Zur Bestimmung eines diagnostischen Trennwerts und Gewährleistung einer bestmöglichen Sensitivität und Spezifität wird eine ROC-Kurve analysiert. Hierzu werden diese beiden Größen kombiniert. Die so erhaltene Receiver operating curve (ROC-Kurve) ermöglicht eine Variation des Schwellenwertes zu Gunsten der Sensitivität oder der Spezifität.

3 Ergebnisse

3.1 Übersicht

Bei 10 von 12 Patienten bestätigte sich die Diagnose der Manuellen Therapie auch in der bildgebenden Darstellung in SPECT Technik. Einer von 13 klinisch unauffälligen Patienten zeigte in der nuklearmedizinischen Untersuchung einen erhöhten Uptake.

Patient	Geschlecht	Alter	MT-Befund	SPECT-Befund
1	weiblich	24	ja	ja
2	weiblich	26	nein	nein
3	weiblich	29	ja	nein
4	weiblich	18	ja	ja
5	männlich	25	nein	nein
6	weiblich	31	ja	ja
7	männlich	37	ja	ja
8	weiblich	35	ja	nein
9	weiblich	37	nein	nein
10	männlich	18	nein	nein
11	männlich	30	ja	ja
12	männlich	30	nein	nein
13	weiblich	26	ja	ja
14	weiblich	23	ja	ja
15	männlich	37	nein	nein
16	männlich	33	nein	nein
17	männlich	29	nein	nein
18	weiblich	23	nein	nein
19	weiblich	25	ja	ja
20	weiblich	30	ja	ja
21	weiblich	24	nein	nein
22	weiblich	20	nein	nein
23	weiblich	23	nein	nein
24	weiblich	37	ja	ja
25	männlich	25	nein	ja

Tabelle 3-2 Patientenübersicht

Die Berechnung des Kappa-Koeffizients ergibt einen Wert von 0,757. Auch die Korrelation nach Pearson zeigt bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,01$ (2-Seitig) mit 0,761 eine gute Übereinstimmung. Beide Tests beweisen die signifikante Datenlage.

Die Sensitivität der SPECT Untersuchung bezogen auf die manualtherapeutische Untersuchung beträgt 0,833 bei einer Spezifität von 0,923.

Mit einem Durchschnittsalter von 26,9 bei 13 negativen (Standardabweichung 5,97) und 28,7 bei 12 positiven Patienten (Standardabweichung 5,84) stellt sich diese Variable annähernd gleichverteilt dar. Signifikant mehr Frauen haben einen positive Befund (10 positiv / 2 negativ) bei ähnlicher Anzahl an untersuchten Patienten (15 weiblich / 10 männlich). Allerdings ist diese Erkenntnis bei der geringen Probandenzahl nicht als repräsentativ zu bewerten.

Pat	MT Befund	SPECT Befund	MT Untersuchung		SPECT Untersuchung	
			Hauptdiagnose	Nebendiagnose(n)	Hauptdiagnose	Nebendiagnose(n)
1	ja	ja	2/3 li-	0/1 re-	3/4 re 0,25	
2	nein	nein				
3	ja	nein	0/1 re-	2/3 re-		
4	ja	ja	2/3 li-	5/6 +	4/5 li 0,22	3/4 li 0,218
5	nein	nein				
6	ja	ja	0/1 re-		1/2 li 0,27	
7	ja	ja	0/1 li-	5/6 +	3/4 re 0,28	1/2 re 1,21
8	ja	nein	2/3 li-			
9	nein	nein				
10	nein	nein				
11	ja	ja	0/1 li-	4/5+ 5/6+ 6/7- 7/8-	1/2 li 0,22	
12	nein	nein				
13	ja	ja	2/3 li-	0/1 li-	2/3 re ,027	1/2 re 0,21
14	ja	ja	2/3 li-	6/7+ 7/1+	2/3 re 0,26	4/5 re 0,22
15	nein	nein				
16	nein	nein				
17	nein	nein				
18	nein	nein				
19	ja	ja	4/5 re-		4/5 li 0,24	
20	ja	ja	2/3 li-		2/3 re 0,31	
21	nein	nein				
22	nein	nein				
23	nein	nein				
24	ja	ja	2/3 li-	0/1 li-	5/6 li 0,26	4/5 li 0,24
25	nein	ja			4/5 re 0,35	

Tabelle 3-3 Vergleichende Darstellung der Befunde

Obenstehende Tabelle zeigt einen Vergleich der Befunde von manualmedizinischen und nuklearmedizinischen Untersuchungen. Dabei gibt die Zahl den jeweiligen

Wirbelkörper der HWS an. Das Facettegelenke zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel rechts ist als 2/3 re verzeichnet. Minus und Plus stehen für Hyper- oder Hypomobilitäten. Zahlen mit Nachkommastellen beschreiben den Uptake rechts gegen links nach der SPECT Auswertung.

Es zeigen sich keine signifikanten Korrelationen im Bezug auf die Höhe und Seite der Befunde. In 4 Fällen zeigte sich ein erhöhter Uptake in gleicher Höhe aber auf der Gegenseite. Die Befundverteilung im Bezug auf den manualtherapeutischen Befund gibt nachfolgende Tabelle kurz wieder (Zahlen entsprechen den Patientenummern):

MT Befund	Gleiche Seite	Gegenseite
Gleiche Höhe		13,14,19,20
-1	11	1,6
-2	4	
-3	24	7

Tabelle 3-4 Verteilung der SPECT-Befunde im Bezug auf manualtherapeutische Befunde

Eine absolute Häufigkeitsverteilung zeigt nachfolgende Tabelle:

Höhe	MT Hauptdiagnosen	MT Nebendiagnosen	MT Hypermobilitäten	SPECT-Ratios gr. 0,2
C0 / C1	4	3		
C1 / C2				4
C2 / C3	7	1		3
C3 / C4				3
C4 / C5	1		1	5
C5 / C6			3	1
C6 / C7		1	1	
C7 / Th1		1	1	
Gesamt:	12	6	6	16

Tabelle 3-5 Absolute Verteilung der Befunde

Eine orientierende Darstellung der Krankheitsdauer und Anamnese der Patienten mit positivem manualtherapeutischen oder nuklearmedizinischen Befund gibt folgende Tabelle wieder:

Pat	Form	Monate	Beschreibung	Unfall
1	chronisch	84	Seit 11/03 progredient	Reitunfall 90 VU seitlich 90
3	chronisch	60	Seit 6 Monaten progredient	VU 88
4	chronisch	36	3x pro Monat Schmerzen	VU 6/01
6	chronisch	60	Seit 5 Jahren	VU 99 von hinten
7	chronisch	4	HWS Reposition 6/04 seit diesem Zeitpunkt bestehen Beschwerden	
8	chronisch	48	Seit 2 Wochen progredient	Reitunfall 89 / VU von hinten 98
11	chronisch	11	Seit VU dauerhaft	VU 4/03
13	chronisch	72	98 VU seit dem progredient	VU 98
14	chronisch	7	9/03 fast keine Beschw. mehr dann VU	VU 9/01 und 10/03
19	akut	0,2	Akut seit einer Woche	
20	chronisch	48	Seit VU rezidivierend	VU 3/00
24	chronisch	84	Seit Kindheit	VU 74/75
25			Keine Beschwerden	

Tabelle 3-6 Anamnesetische Eckdaten; (VU=Verkehrsunfall)

Die Tabelle zeigt den hohen Anteil an chronisch kranken Patienten. Die durchschnittliche Krankheitsdauer beträgt 3,57 Jahre und reicht von nur einer Woche bis zu 7 Jahren. Als wirklich akut konnte nur Patient Nr. 19 bewertet werden. 10 von 12 Patienten ist mindestens ein Unfall erinnerlich.

3.2 Untersuchungsergebnisse der Ultraschalltopometrie

Nachfolgende Tabelle zeigt das durch Ultraschalltopometrie ermittelte Bewegungsausmaß an. Von links nach rechts sind zunächst Flexion und Extension sowie Rotation und Lateralflexion nach rechts und links zu entnehmen. Die letzten vier Spalten zeigen die bereits beschriebenen Kombinationsbewegungen an.

Pat	Flex	Ext	Ro LI	Ro RE	Lat LI	Lat Re	Flex+Rot LI	Flex+Rot RE	Ext+Rot LI	Ext+Rot RE
1	49	67	83	73	55	62	45	61	80	58
3	56	36	54	56	27	29	2	47	32	41
4	67	41	63	55	36	38	11	19	40	0
6	64	57	65	72	38	45	53	53	56	51
7	66	80	73	70	38	48	25	13	49	7
8	59	14	39	62	29	39	19	41	21	38
11	52	77	69	64	40	42	44	49	54	53
13	70	54	67	57	32	25	47	40	51	42
14	60	58	61	69	46	47	50	61	50	55
19	54	69	52	79	42	37	5	57	58	33
20	57	45	67	54	14	48	14	37	45	23
24	72	58	82	74	48	53	70	52	71	58
25	64	61	77	78	56	55	54	72	50	44

Tabelle 3-7 Bewegungsausmaße der Ultraschalltopometrie

Um individuelle Varianzen in Winkelmaßen besser beurteilen zu können wurden die ermittelten Daten in Verhältnis zu einem Bevölkerungsquerschnitt gesetzt. Als „Normwerte“ wurde das von J. Dvorak 1992 ermittelte Bewegungsausmaß herangezogen. [Dvorak]

Alter	Flex / Ext	Seitneigung	Rotation	Flex + Rot	Ext + Rot
20 – 29 (w)	149,3°	100,0°	182,4°	72,6°	171,5°
20 – 29 (m)	152,7°	101,1°	183,8°	75,5°	161,8°
30 – 39 (w)	155,9°	106,3°	186,0°	74,6°	165,8°
30 – 39 (m)	141,1°	94,7°	175,1°	66,0°	158,4°

Tabelle 3-8 Alters- und Geschlechtsabhängige Bewegungsausschläge der Halswirbelsäule

Im folgenden werden die Bewegungsdaten analysiert. In den ersten 4 Spalten werden jeweils die Bewegungsausschläge nach rechts von den Bewegungsausschlägen nach

links subtrahiert. Im zweiten Teil der Tabelle steht „R“ für den oben beschriebenen Referenzwert.

Es fällt auf, dass nur 5 Patienten ein Defizit von über 10° beim Seitenvergleich der axialen Rotation aufweisen.

Pat	Rot Li-Re	Lat Li-Re	Flex+ Li-Re	Ext+ Li-Re		Flex- Ref	Ext- Ref	Ro Li-Ref	Ro Re-Ref	Lat Li-Ref	Lat Re-Ref
1	10	-7	-16	22		-21	17	3	-7	15	22
3	-2	-2	-45	-9		-14	-14	-26	-24	-13	-11
4	8	-2	-8	40		-3	-9	-17	-25	-4	-2
6	-7	-7	0	5		-6	7	-15	-8	-2	5
7	3	-10	12	42		-4	30	-7	-10	-2	8
8	-23	-10	-22	-17		-11	-36	-41	-18	-11	-1
11	5	-2	-5	1		-18	27	-11	-16	0	2
13	10	7	7	9		0	4	-13	-23	-8	-15
14	-8	-1	-11	-5		-10	8	-19	-11	6	7
19	-27	5	-52	25		-16	19	-28	-1	2	-3
20	13	-34	-23	22		-13	-5	-13	-26	-26	8
24	8	-5	18	13		2	8	2	-6	8	13
25	-1	1	-18	6		-6	11	-3	-2	16	15

*Tabelle 3-9 Linker Teil: Bewegungsdifferenz links - rechts
Rechter Teil: Bewegungsdefizit im Vergleich zu Normwerten.*

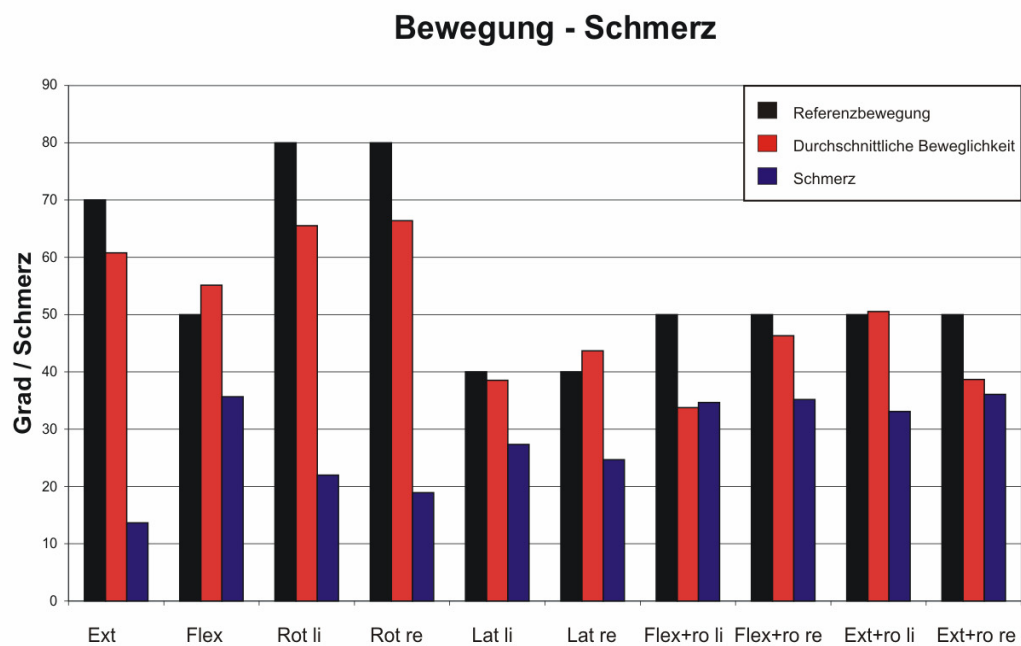
In den meisten Fällen zeigt sich eine defizitäre Bewegung in Flexion und Rotation. Die Extension sowie Lateralflexion kann in 9 Fällen als normal bis überdurchschnittlich bewertet werden.

Die Patienten gaben ihre subjektive Schmerzwahrnehmung für jede Bewegung mit Hilfe der visuellen Schmerzskala an. Nachstehende Tabelle zeigt die persönliche Einstufung auf einer Skala von 0 (kein Schmerz) bis 100 (unerträglicher / lebensbedrohlicher Schmerz) an.

Pat	Flex	Ext	Ro LI	Ro RE	Lat LI	Lat Re	Ant+Rot LI	Ant+Rot RE	Ret+Rot LI	Ret+Rot RE
1	0	40	0	20	0	0	0	0	0	35
3	30	0	30	28	60	50	60	40	45	45
4	0	40	10	0	38	34	28	32	48	60
6	30	30	10	0	0	0	35	35	0	30
7	40	70	60	50	80	60	78	70	74	68
8	10	60	20	0	40	0	0	30	0	0
11	0	20	28	0	28	0	30	0	70	0
13	0	38	0	12	0	64	0	80	20	0
14	0	30	10	65	0	30	20	5	10	40
19	10	20	70	30	60	40	75	40	60	75
20	40	80	10	10	22	10	90	90	70	70
24	4	0	16	12	0	8	0	0	0	10

Tabelle 3-10 Objektivierter Schmerzwahrnehmung mittels visueller Schmerzskala

Folgendes Diagramm dient der vergleichenden Darstellung von Schmerz und Beweglichkeit. Die roten Balken entsprechen der durchschnittlich ausgeführten Bewegung aller Patienten. Der schwarze Balken repräsentiert die durchschnittliche Beweglichkeit einer gesunden Probandengruppe. Durch die blauen Balken wird der durchschnittliche Schmerz dargestellt. Bei diesem recht geringen Patientenkollektiv zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bewegungseinschränkung und Schmerz.



*Tabelle 3-11 Darstellung von Durchschnittsbewegung der Patienten,
Referenzbewegung und Schmerzen*

3.3 Radiologische Befunde

Die Beurteilungen der konventionellen Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule und der Kernspintomographie sollen in folgenden Tabellen stichpunktartig dargestellt werden:

Pat	Röntgenbefunde der konventionellen HWS Aufnahme in 2 Ebenen
1	Knochendichte Verschattung im Segment C4/5 foraminale Enge C7/T1
3	altersentsprechender Befund
4	altersentsprechender Befund
6	Ventrale und dorsale Spondylose C5/C6 Retrospondylose C6/C7
7	altersentsprechender Befund
8	Streckhaltung, knöchern unauffällig Monosegmentale Degeneration des Faches C5/C6 mit mäßiger Spondylose. Spondylose C7/T1
11	Streckhaltung, dorsaler Spondylophyt C3 und C5
13	Streckhaltung, knöchern unauffällig
14	Angedeutete Kyphosierung
19	altersentsprechender Befund
20	altersentsprechender Befund
24	Aufgehobene Lordose, leichter Versatz C4/C5
25	Streckhaltung, knöchern unauffällig

Tabelle 3-12 Befunde der konventionellen HWS Aufnahmen in 2 Ebenen

Pat	Befunde der Kernspintomographie
1	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
3	Flüssigkeitsminderung C5/C6 Retrospondylose C5 mit nichtrelevanter Einengung C5/C6 li
4	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
6	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
7	Physiologische HWS Lordose. Angedeuteter Signalverlust BS C5/C6 und C6/C7
8	Reduzierter Flüssigkeitsgehalt C5/C6 sonst o.p.B.
11	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
13	es wurde kein MRT angefertigt
14	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
19	normaler Flüssigkeitsgehalt. o.p.B.
20	Mediolateraler BSV C6/C7 re subligamentär dezentrierter Dens axis nach re
24	Osteochondrose C4/C5 mit Verformung der Myelons ohne Myelopathie
25	Es wurde kein MRT angefertigt, da Pat. beschwerdefrei

Tabelle 3-13 Befunde der Kernspintomographie

3.4 SPECT Befunde

Exemplarisch sollen einige Datentabellen der graphischen SPECT – Auswertung von als auffällig beurteilten Patienten dargestellt werden. Die Werte geben den durchschnittlichen Uptake in der ROI wieder.

Schnitte	Pat. 4		Pat. 6		Pat. 13		Pat. 25	
	re	li	re	li	re	li	re	li
1	3167	3744	2072	2541	5302	5501	5429	5833
2	3729	4059	2402	2700	5760	5854	8028	7717
3	3931	4116	2625	2772	6027	6007	6519	6286
4	3570	3882	2752	2745	6159	6383	6095	6428
5	3212	3669	2803	2706	6265	6374	6206	6636
6	3516	3923	2582	2637	5907	6031	6356	5834
7	4071	4390	2280	2947	5498	6056	8204	6877
8	4572	4875	2378	3152	6442	6201	8759	7302
9	4938	5390	2466	3424	7117	6144	8362	7723
10	5230	5749	2760	3581	7500	6179	8882	8502
11	5687	6344	3085	3642	7840	6448	9657	9719
12	6302	7353	3180	3771	7801	7030	10337	10479
13	6634	7269	3415	4053	7921	7621	10259	9966
14	6338	7415	3589	4204	8907	7751	11097	9501
15	6184	7779	4418	4129	10204	8006	12737	10359
16	6630	8480	4398	4642	10737	8903	14348	11517
17	7271	9110	4318	5218	10351	9557	14505	11920
18	7793	9095	4746	5654	11402	10075	14971	11367
19	7863	10000	5334	6062	12227	11095	15594	11637
20	8366	10731	5653	6674	13111	11494	15375	13652
21	9067	11361	5728	6572	15133	13111	15485	14638
22	8767	9822	6467	7189	14796	12913	16383	15990
23	8606	9974	6537	7354	15257	12995	15891	15720
24	9408	10880	6866	7778	15417	14008	15510	15120
25	10522	11583	7149	8390	15379	15117	14391	13828
26	9904	10088	7174	7993	14647	14172	13451	13310
27	8591	8797	7374	7952	15089	13882	13744	12952
28	7921	7969	6954	7403	15368	13780	10954	9947
29	7653	8114	7273	7747	14560	13537	11466	10342
30	7628	8431	7607	8065	14061	12535	11413	10936
31	7783	7535	7740	8174	13547	12034		

Tabelle 3-14 Auswahl auffälliger Befunde

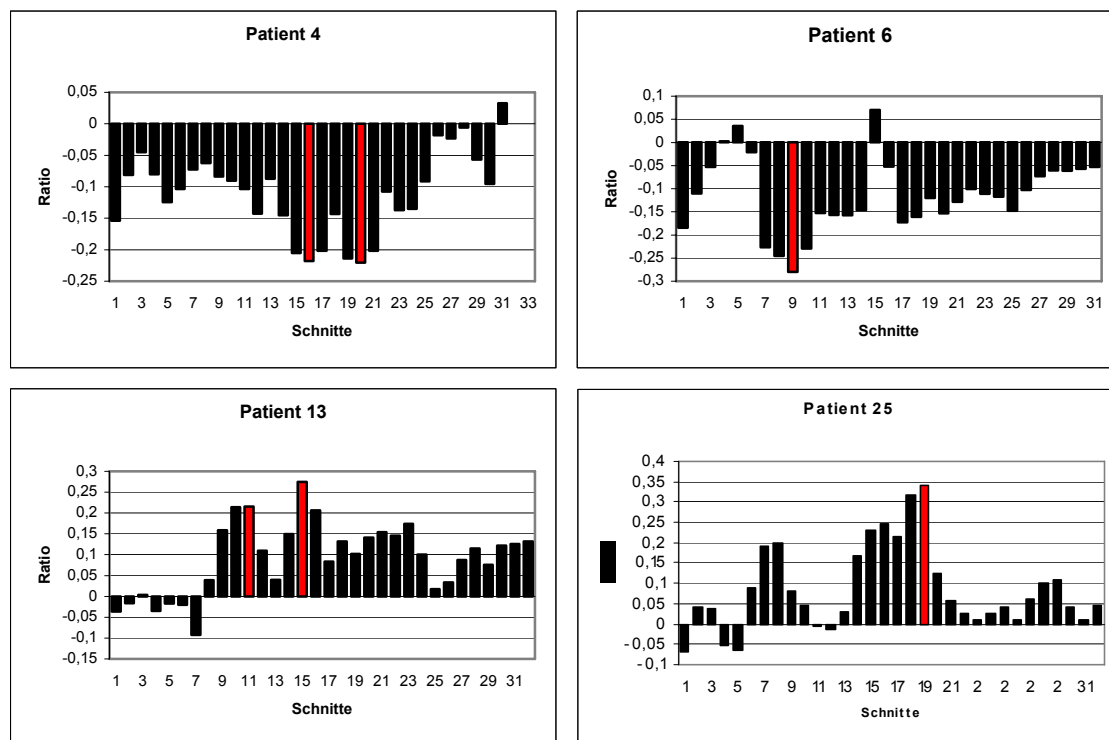


Abbildung 3-30 Graphische Darstellung auffälliger Befunde

Es fällt der charakteristische „Dreierverlauf“ in der Höhe der Zwischenwirbelgelenke auf. Die als rot markierten Positionen zeigen ein Gelenk an, dass mindestens 20% mehr ^{99m}Tc -HDP gespeichert hat. Dieser Wert zeigte sich nach Analyse der ROC Kurve als besonders präzise zur Unterscheidung beider Gruppen.

Im Gegensatz zu diesen Befunden folgen nun die Daten ausgewählter Personen ohne manualtherapeutisch oder nuklearmedizinische Auffälligkeiten.

Schnitte	Patient 3		Patient 5		Patient 8		Patient 21	
	re	li	re	li	re	li	re	li
1	6949	7010	4306	4268	1871	1793	3030	3481
2	7773	7496	4332	4444	2806	2806	3510	3764
3	7673	7688	4677	4697	2564	2635	3736	3833
4	7599	7444	4941	4701	2866	2824	3798	3620
5	8096	7936	4846	4446	3051	3057	3736	3833
6	8968	8742	6070	5963	2842	2862	3798	3620
7	9421	9455	6327	5644	3302	3041	3407	3188
8	10234	10887	6456	5860	3449	3309	2915	2523
9	11578	11714	6924	6604	3768	3904	3104	2733
10	12552	12294	7171	6913	4022	4190	3160	3138
11	12865	12864	8158	7291	4023	4040	3251	3288
12	13656	13747	9377	8141	4146	3981	3157	3556
13	15000	14159	10205	8962	4504	4475	3346	4013
14	15480	14482	10282	9611	4983	5087	3799	4102
15	14677	15073	10766	10441	5270	5357	3737	4008
16	14548	15249	11260	11748	5388	5572	3469	3877
17	15268	16529	11779	12976	5156	5724	3878	4317
18	14506	15587	12197	12979	5434	6338	4607	4697
19	14630	16603	12555	13177	5957	6469	4974	5063
20	14880	14381	13413	14079	6184	6093	5123	5247
21	15757	14838	13526	14565	6252	6632	5082	5605
22	16923	16141	13783	15231	6662	7650	5310	6312
23	17605	18242	13553	15570	7129	7710	6036	6194
24	17777	18357	13943	15485	7312	7594	6390	6831
25	16694	16816	13421	14536	7093	7594	6776	6464
26	17827	17703	12703	13249	7501	7370	6611	6381
27	17500	18180	11022	12284	7904	7655	6466	7135
28	17903	18540	10579	11792	8369	7950	7210	7833
29	17482	17367	10054	10630	7992	7015	7655	7770
30			9734	9688	7412	7220	7163	6931

Tabelle 3-15 Auswahl unauffälliger Befunde

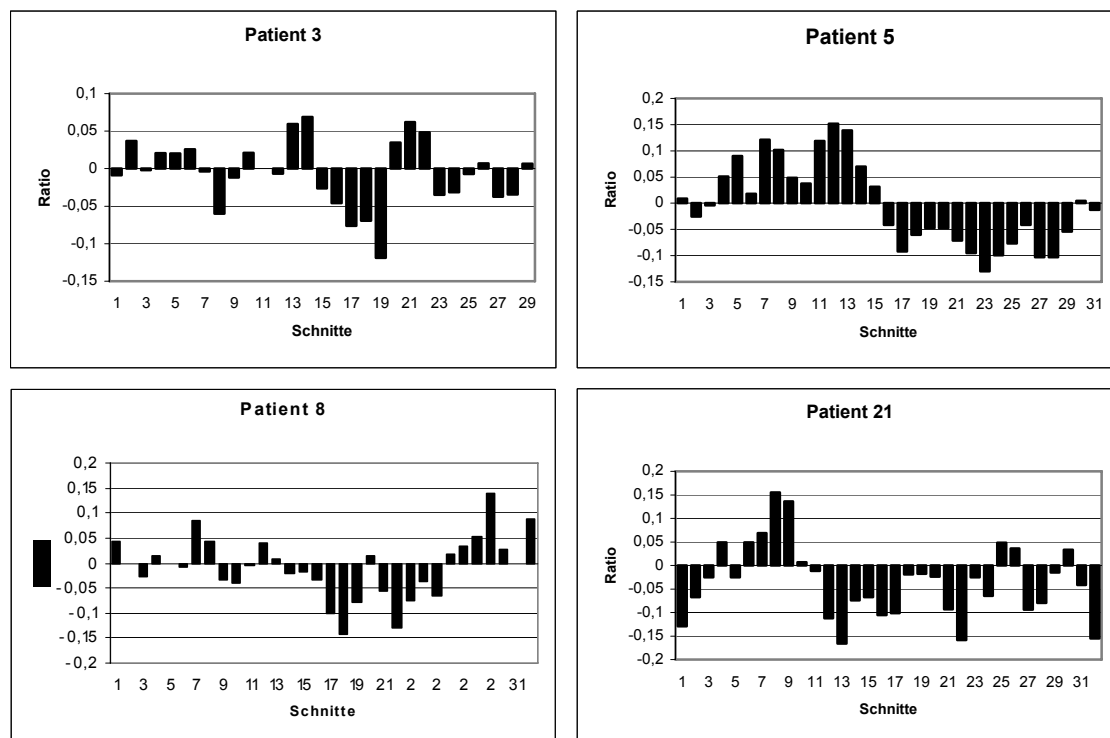


Abbildung 3-31 Graphische Darstellung unauffälliger Befunde

Mit dem Kolmogorov-Smirnov Test konnte die Normalverteilung der SPECT Daten gezeigt werden.

Die charakteristischen Unterschiede der beiden Gruppen lassen sich aus verschiedenen Betrachtungswinkeln genauer beschreiben. Die Patienten der Kontrollgruppe zeigen ein „unruhiges Bild“. Die häufigen Wechsel des Uptakequotientens von links zu rechts deutet auf eine gleichmäßige Stoffwechsellage der Halswirbel hin. Bei Patienten ohne Beschwerden kommt es durchschnittlich 7,71 mal zu einem Wechsel des Vorzeichens. Dieser Umschlag ist bei der anderen Gruppe mit 4 deutlich geringer.

Dieser Erkenntnis lässt sich durch die nachfolgende Grafik noch verdeutlichen. Zur Datengewinnung wurden von 1 jeweils die Ratios jedes Patienten subtrahiert und anschließend die Summe gebildet. Da für diese Frage die Seite der Mehrbelegung irrelevant ist, wurden abschließend nur noch die Beträge verglichen. Zur besseren Übersicht wurden die Beträge der Größe nach geordnet.

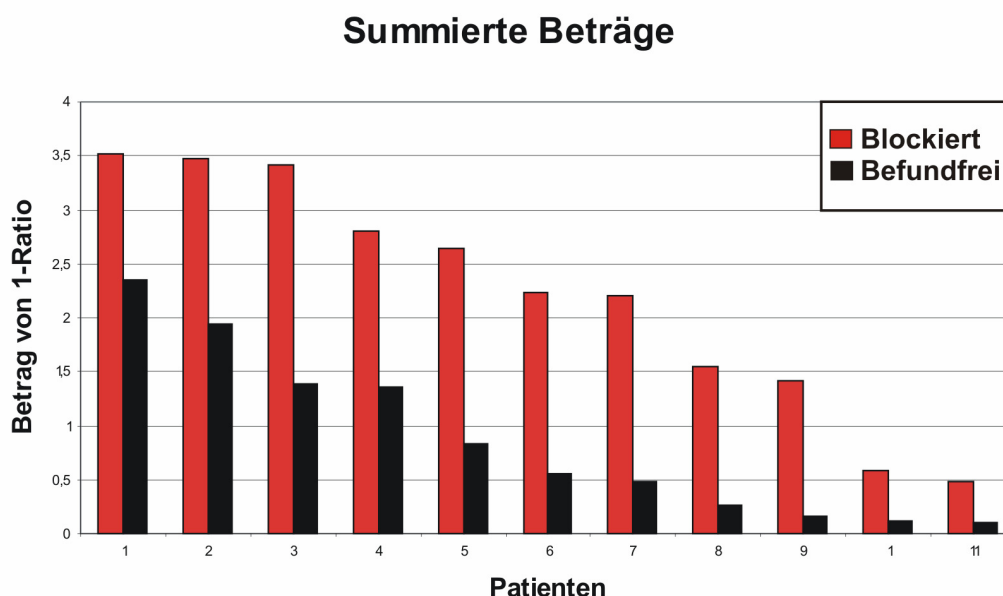


Abbildung 3-32 Summe des Betrags der Uptakequotienten

Der Mittelwert der Kontrollgruppe liegt bei 0,86. Er differiert deutlich von dem der Patienten mit einer Blockierung. Dieser ist mit 2,21 ca. 2,6 mal größer. Hierin zeigt sich erstmals die einseitig vermehrte Stoffwechsellaage der blockierten Halswirbelsäule. Eine Signifikanz konnte nur für die Schnitte 8-26 gezeigt werden. Diese beträgt beim zweiseitigen T-Test 0,046. Hier zeigt sich auch nochmals, dass die größte Seitendifferenz in der mittleren Halswirbelsäule zu finden ist. Alle Befunde lagen zwischen Schnitt 8 und 26 (bei 11 Patienten sogar nur zwischen 8 und 20)

3.5 Sonstige Befunde

Bei den Patienten 3, 4, 14, 20 und 23 wurde bei positivem Provokationstest der Arteria vertebralis eine dopplersonographische Untersuchung der Halsgefäße durchgeführt. Diese zeigte in keinem Fall einen pathologischen Befund.

4 Diskussion

Bisher gibt es keine Studien, mit denen diese Ergebnisse direkt verglichen werden können. Es müssen weitere Studien durchgeführt werden, um die hier aufgezeigten Tendenzen zu untermauern.

Als Kernpunkt ist zu erwähnen, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang von 83,3% zwischen manualtherapeutischem und szintigraphischem Befund besteht. Allein anhand der seitenvergleichenden Auswertung der SPECT Bilder kann eine Aussage über die funktionelle Pathologie der Halswirbelsäule gestellt werden. Diese Tatsache kann uns unserem Ziel, gutachterliche Beurteilungen zu objektivieren, deutlich näher bringen. Leider zeigen die Daten keine eindeutige Korrelation zwischen der Höhe der Blockierung und dem Uptake. Diese Tatsache entspricht nicht unseren Erwartungen und bedarf der Diskussion.

4.1 Fehlerquellen

Mit Udo Wolf konnte sicherlich einer der erfahrensten Manualtherapeuten Deutschlands für diese Studie verpflichtet werden. Dennoch muss erwähnt werden, dass die Palpation der Wirbelsäule eine hohe Anzahl an Fehlern mit sich bringt. Die Intertest Reliabilität bei einem Probanden gab Christensen mit 0,68 bis 0,80 an. Selbst ein Untersucher, der in einem Abstand von einer Stunde eine zweite Untersuchung des gleichen Probanden vornimmt, bestätigt seinen vorherigen Befund nur in 81% - 88% der Fälle. [Christensen et al.]

Bei der Beschreibung der passiven intersegmentalen Beweglichkeit konnte nur für 5 von 58 klinischen Tests ein akzeptabler Kappawert ermittelt werden. [Fjellner et al.]

Die Reliabilität manualmedizinischer Untersuchungstechniken an der Halswirbelsäule zeigt eine deutliche Abhängigkeit der zu untersuchenden Qualität. Schmerzen an den Gelenken und der Muskulatur können mit einem akzeptablen Signifikanzniveau ($< 0,05$) reproduziert werden, wohingegen Tonuserhöhung der Muskulatur oder Hypomobilität der Facettegelenke keine annehmbare Reproduzierbarkeit zeigen.

[Schöps et al.] Selbst ein sehr hoher Muskeltonus kann ein hartes Endgefühl in der manuellen Testung erzeugen und somit eine Blockierung imitieren. [Sachse]

All diese Erkenntnisse zeigen die Fehleranfälligkeit der manualtherapeutischen Untersuchung. Sie stellt aber vermutlich nicht die maßgebliche Fehlerquelle dar. Vor allem der beständige Therapieerfolg nach Manipulation ist ein deutliches Zeichen einer korrekten Befundung.

Die Auswertung der in SPECT-Technik gewonnen Bildern ist mit der eines Röntgenbildes nicht zu vergleichen. Durch die körnige Auflösung ist es nicht möglich anatomische Strukturen mit hoher Sicherheit zu identifizieren. Aus diesem Grund wurde die segmentale Höhenlokalisierung nicht wie bisher anhand eines Sagittalschnittes, sondern anhand der charakteristischen Form der Transversalschnitte bestimmt. Dieses Verfahren scheint deutlich genauer und sicherer zu sein als die bisherigen. Allerdings fallen hier individuelle Unterschiede wie z. B. ungleich hohe Wirbelkörper oder abweichende Bandscheibenflächen als Fehlerquelle auf.

Dennoch scheint bei diesem Auswertungsverfahren eine falsche Höhenlokalisierung unwahrscheinlich. Die Endpunkte der Halswirbelsäule sind mit dem Übergang C0 – C1 und C7 – Th1 über die spezielle Anatomie zweifelsfrei zu identifizieren. Auf diese Strecke legen sich ca. 30 Schnitte. Das benachbarte Gelenk bildet sich damit ca. 2 – 4 Schnittbilder tiefer ab. Unsicherheiten bestehen somit nur in der mittleren HWS, da sich hier die Einzelfehler addieren können. Da dieses Verfahren erstmals benutzt wurde fehlen hierzu aber leider noch Langzeitergebnisse und Erfahrungswerte.

4.2 Biomechanisches Erklärungsmodell

Zur Erklärung der abweichenden Höhen- und Seitenlokalisation ist ein biomechanisches Erklärungsmodell denkbar.

Zum Zeitpunkt einer akut auftretenden Blockierung ändert sich die Belastungssituation der Wirbelsäule grundlegend. Das Bewegungsausmaß der hypomobilen Wirbelkörper nimmt ab und benachbarte Bewegungssegmente kompensieren dieses Defizit durch vermehrte Bewegung. In nachfolgender Abbildung sind beispielhaft 3 Wirbelkörper mit den dazugehörigen Gelenken G1 – G4 dargestellt.

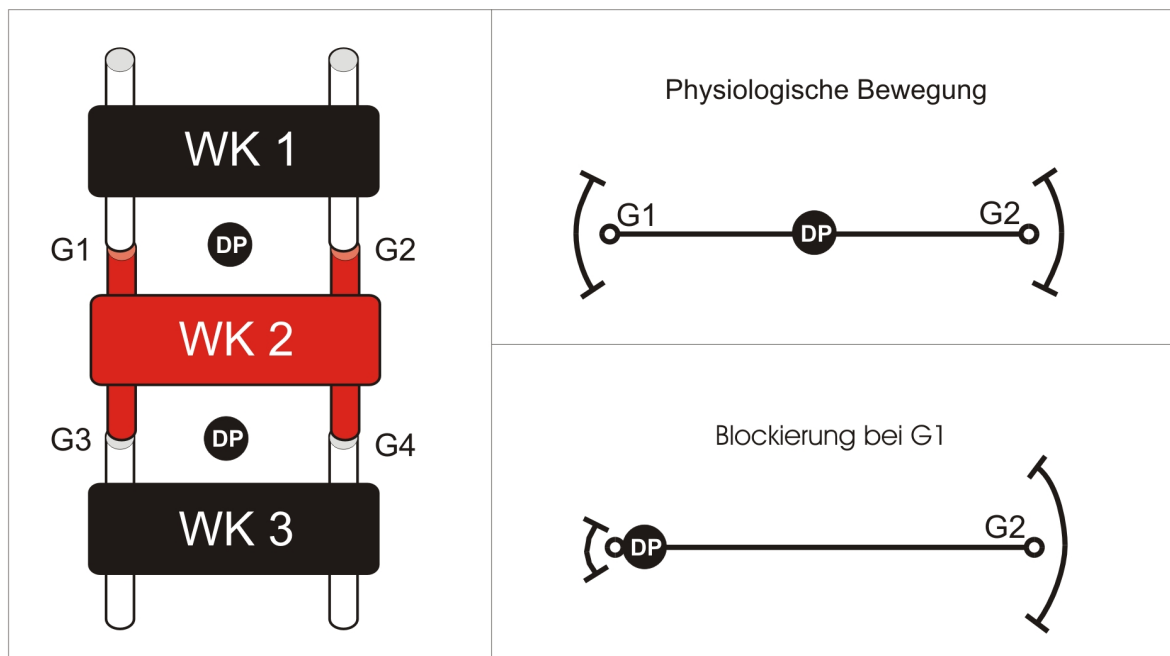


Abbildung 4-33 Links: Schematische Darstellung dreier Wirbelkörper mit den dazugehörigen Gelenken
Rechts: Verschiebung des Drehpunktes bei einer Blockierung

Der Knochenmetabolismus ist wie erwähnt primär von Druck- und Zugstimuli abhängig. Die Tatsache, dass der Uptake in einer Vielzahl der Fälle auf der gleichen Höhe aber der Gegenseite der manuell diagnostizierten Hypomobilität liegt, legt die folgende Vermutung nahe: Eine Blockierung in G1 hat eine verminderte Beweglichkeit zur Folge. Kompensatorisch wird die Bewegung nun über das Gelenk G2 weitergeleitet, welches sich durch den vermehrten Knochenstoffwechsel bemerkbar macht. Hierbei verschiebt

sich der Drehpunkt der Bewegung in Richtung von G1. Dieses wird nach anfänglicher Umstellung des Stoffwechsels weniger belastet. G3 und G4 können je nach Statik und Belastungssituation ebenso reagieren wie G2. Dies hängt von der Gesamtbelastung und der Verschiebung des Drehpunktes ab. Diese komplexe Veränderung der Bewegungsachse wurde bereits 1990 von A. White für discogenen Degenerationsvorgänge beschrieben. [White et al.]

Die einzelnen Facettegelenke betrachtend, könnte man innerhalb eines Bewegungssegments sogar von einer Koexistenz von Hypo- und Hypermobilität sprechen. Die muskuläre Fixierung des hypomobilen Bewegungssegments erfolgt somit vermutlich zum einen über einen ischämischen Schmerz der verkürzten Muskulatur und zum anderen über nozizeptive Impulse der hypermobilen Gelenkkapsel.

Die Analyse zeigte keine Korrelation zwischen einer manualtherapeutischen Mehrbeweglichkeit und einem unterschiedlichen Uptakeverhalten. Dies liegt vermutlich daran, dass hier keine Drehpunktverschiebung stattfindet. Somit werden beide Gelenke gleichermaßen stärker belastet. In diesem Falle aber ist die Kraftverteilung so gleichmäßig, dass seitendifferente Stoffwechseleränderung ausbleibt.

Ungeklärt bleibt auch bei diesem Modell, weshalb im SPECT ermittelte Befunde stets unterhalb der MT – Diagnose zu finden waren. Weitere Studien müssen zeigen, ob niemals ein seiteindifferenter Uptake oberhalb von C2 zu finden ist. Bei der verhältnismäßig hohen Anzahl von 4 Patienten, die eine Blockierung von C0 – C1 aufwiesen, ist natürlich ein weiter cranial liegender SPECT Befund nicht möglich. Eine weitere Erklärung stellt die Tatsache dar, dass in den Kopfgelenken durch die ligamentäre Verbindung stets eine gekoppelte Bewegung stattfindet. Somit könnten sich Belastungen besser verteilen und eine Seitendifferenz ausbleiben.

4.3 *Nozizeptives Erklärungsmodell*

Neben dem bereits beschriebenen biomechanischen Modell ist ebenfalls nachfolgendes nozizeptive Modell denkbar. In dieser Studie bestand das Patientenkollektiv aus Probanden, die bereits über einen langen Zeitraum von durchschnittlich 3,5 Jahren symptomatisch waren. Eine akute Blockierung bei vorheriger Beschwerdefreiheit konnte nur in einem Fall untersucht werden. Bei chronisch kranken Patienten ändert sich die Stoffwechsel- und Innervationslage grundlegend. Durch chronifizierte Schmerzen kommt es in afferenten Neuronen des Rückenmarks zum so genannten „wind-up Phänomen“. Genexpressionsmuster betroffener Nervenzellen werden derart beeinflusst, dass sie auf künftige synaptische Signale in veränderter Weise reagieren. [Azad et al.]

Der eigentliche Schmerzimpuls wird von der Schmerzwahrnehmung entkoppelt. Durch die enge Vernetzung von Nozizeption und dem Vegetativum ist über diesen Regelkreis eine schmerzgetriggerte Veränderung des ossären Metabolismus denkbar. Wie auch bei der sympathischen Reflexdystrophie ist bei lang andauernden Schmerzzuständen eine erhöhte Expression α_1 -adrenerger Rezeptoren auf nozizeptive Afferenzen vorstellbar. Die hiermit verbundene Aktivitätssteigerung des Sympathikus hätte ebenfalls einen gesteigerten Knochenmetabolismus zur Folge. [Treede] Dies stellt eine möglich Erklärung für eine Mehranreicherung von Kalzium an manualtherapeutisch symptomfreien Gelenken dar.

4.4 *Pathophysiologie der Blockierung*

Die Entstehung einer Blockierung ist noch nicht abschließend geklärt. Verschiedene Ansätze werden hier diskutiert. Evans erstellte 2002 einen umfassenden Überblick, der auch den Wirkmechanismus der Manipulation aufarbeitet. [Evans]

4 Ansätze werden vorgestellt:

1. Das physiologische Gelenkspiel wird durch eingeschlagene Synovialfalten behindert.
2. Das Bewegungssegment wird aufgrund der diagonal über das Gelenk verlaufenden Muskelfasern in seiner Stellung blockiert.
3. Adhäsionskräfte an der Gelenkfläche verhindern eine natürliche Bewegung.
4. Durch eine Hypermobilität wird das Gelenk in eine der Subluxation nahe kommende Stellung gebracht.

Zu 1: Das Modell der behindernden Synovialfalte scheint vielen Anforderungen gerecht zu werden. Es erklärt suffizient, wie es auch ohne adäquates Trauma oder eine abnorme Bewegung zu einer plötzlich auftretenden Bewegungseinschränkung kommen kann. Auch durch die nozizeptive Innervation der Gelenkkapsel ist eine Veränderung des Knochenstoffwechsels erklärbar. Allerdings sollte eine Reizung der Synovia über einen längeren Zeitraum aber auf jeden Fall mit einer inflammatorisch bedingten Hyperämie einhergehen. Die damit verbundenen hämodynamischen Veränderungen sollten sich in Perfusions- und Blutpoolaufnahme darstellen. Diese sind aber ausnahmslos unauffällig.

Zu 2: Sicher spielt die muskuläre Stabilisierung eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Hypomobilität. Da kein Muskel ein Gelenk axial überzieht, kann man sich die muskuläre Fixierung wie folgt vorstellen:

- Durch eine Hypermobilität oder eine ungewohnte Bewegung wird Muskel 1 in pathologische Dehnung gebracht.
- Diese abrupte Längenveränderung führt zu einem auf spinaler Ebene getriggerten Eigenreflex, der eine Kontraktion dieses Muskels zum Ziel hat.
- Querverlaufende Fasern des Muskels 2 reagieren auf diese plötzliche Dehnung ebenfalls mit einer Tonussteigerung.
- Beide Muskeln fixieren das Gelenk in dieser unnatürlichen Position.

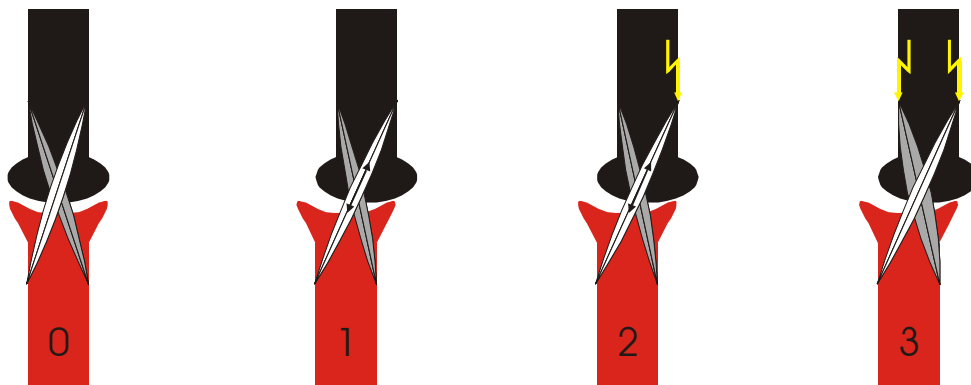


Abbildung 4-34 Muskuläre Fixierung eines Gelenkes

Am häufigsten kommt es zu dieser Situation bei einer segmentalen Überbeweglichkeit. Bei der Hypermobilität wird ein Gelenk häufig in Positionen gebracht, die über das physiologische Bewegungsausmaß hinausgehen. Bei endgradiger Einstellung findet eine Nozizeption statt, die sekundär den Tonus der stützenden Muskulatur und der Myofibroblasten steigern. [Bucher et al.] Durch diese Fixierung einzelner Bewegungsrichtungen und den damit verbunden fibromyoblastischen Veränderungen der Gelenkkapsel entsteht das so genannte Kapselmuster. Dies ist Ausdruck der körperlichen Anpassung auf das neue Belastungsprofil. Konstitutionelle Hypermobilität

gilt als eigenständiger Risikofaktor für chronische, nichtradikuläre Rückenschmerzen. [Müller et al.]

Das Segment C2 – C3 ist mit 10,5° Rotation (nach Buetti-Bäumel) der hypomobilste Abschnitt der HWS. [Sachse et al.] Bei einer kompensatorischen Hypermobilität in direkter Nachbarschaft zu einem blockierten Segment kommt es einerseits durch Dehnung der Kapsel, andererseits durch den ständig erforderlichen Hypertonus zu Schmerzen in der Muskulatur. Über den gezeigten circulus vitosus festigt sich somit wieder der pathologische Zustand. [Sachse et al.]

Diese sekundären Veränderungen aus Kombination von Muskel- und Fibromyoblastenhyperaktivität erklären auch die Ergebnisse von Goldmann. [Goldmann et al.] Hier berichtet er von 50 Patienten, bei denen in 8 Fällen unter Narkose mit Muskelrelaxierung die Blockierung nicht mehr palpierbar waren. Nach der Narkose wurde sie in 6 Fällen wieder vorgefunden.

1998 publizierte J. Buchmann et al eine Studie, bei der 119 Patienten vor, während und nach einer Intubationsnarkose unter Anwendung eines nicht depolarisierenden Muskelrelaxanzes manualtherapeutisch untersucht wurden. Bei 89,1% der Probanden bestand die Blockierung auch während der Narkose. Allerdings wurden hier nur die Kopfgelenke untersucht. Bei 8 Probanden ließ sich eine Hypomobilität nur vor der Narkose nachweisen. [Buchmann et al.]

Diese Studien implizieren einen geringen Einfluss der Muskulatur bei der Aufrechterhaltung einer segmentalen Dysfunktion. Dieser Erkenntnis steht aber unter anderem auch die klinische Erfahrung entgegen. Patienten mit akuten Blockierungen zeigen oftmals eine spontane Remission unter der Therapie mit Voltaren® (Schmerzmittel vom Typ der Cyclooxygenasehemmstoffe mit dem Wirkstoff Diclofenac) und Musaril® (detonisierendes Medikament aus der Gruppe der Benzodiazepine – Wirkstoff: Tetrazepam). Dieser Erfolg stellt sich aber vornehmlich bei frischen Blockierungen ein, bei denen vermutlich noch keine Bindegewebsveränderung stattgefunden hat. Entscheidend ist hier die schmerzfreie Bewegung zur Unterbrechung gestörter Regelkreise.

Zu 3: Oftmals ist während der Mobilisation oder der Manipulation eines Gelenks ein deutliches Knacken zu hören. Man bezeichnet dieses als das „Ficksche Phänomen“. Es ist durchaus vorstellbar, dass alleine über die Traktion eines Gelenkes ein solches Phänomen auszulösen ist, bei dem auch die Synovia wieder gleichmäßiger im Gelenk verteilt wird. Das röntgenologisch darstellbare Ficksche Zeichen stellt sich als sichel- oder spaltförmige Aufhellung im Bereich des Gelenkspaltes, hervorgerufen durch einströmende Gewebsgase dar. Eine Dynamisierung dieses Gases wäre ebenfalls mit einem auditiven Effekt verbunden und würde auch die oftmals zu beobachtende spontane Beschwerdefreiheit der Patienten erklären.

Zu 4: Die Theorie der Subluxation ist nach heutigem Kenntnisstand nicht mehr zu vertreten. Eine so gravierende Stellungsveränderung müsste in der konventionellen Bildgebung zu erkennen sein.

Zusammenfassend stellt sich die Suche nach dem Substrat der Blockierung extrem schwierig dar. Neben der engen anatomischen und physiologischen Beziehung zu Nachbarstrukturen spielt auch die psychosomatische Situation eine maßgebliche Rolle. Die Wahrnehmung schmerzbedingter Blockierungen scheint einer hohen Placeborate zu unterliegen. Eine australische Studie zeigte bei 32% der Patienten mit Schmerzen des unteren Rückens eine Reduktion der Beschwerden nach der subcutanen Injektion isotoner Kochsalzlösung. [Bogduk] Neben der physiotherapeutischen Behandlung sollte Patienten mit einer langen Krankheitsdauer eine adjuvante psychologische Betreuung zuteil werden. [Söllner et al.]

4.5 Wertigkeit der angewandten Untersuchungstechniken

Bei jedem Patienten wurden 6 Untersuchungen vorgenommen. Konventionelles Röntgen, MRT, planare Szintigraphie, SPECT, computergestützte Bewegungsanalyse und manuelle Untersuchung.

Die konventionelle Röntgenaufnahme der Halswirbelsäule stellt eine obligate Untersuchung vor einer Manipulation dar. Es sollte allerdings bemerkt werden, dass gerade das Röntgenbild nicht zur Diagnosefindung beitragen, sondern nur Kontraindikationen ausschließen kann.

Die Stellung der Kopfgelenke wird beispielsweise oftmals als Merkmal für instabile Bandstrukturen herangezogen. Eine Symmetrie allerdings wurde nur bei 6% von 212 gesunden Probanden gefunden. Ebenso zeigte diese Gruppe mannigfaltige Abweichungen von der Norm ohne Krankheitswert. Auch die Stufenbildung stellt kein sicheres Indiz für eine Hypermobilität dar. Die Höhe der Bandscheibenfächer kann nur einen indirekten Hinweis auf eine segmentale Mehrbeweglichkeit geben. Ebenso zeigte diese Gruppe mannigfaltige Abweichungen von der Norm ohne Krankheitswert. [Sachse et al.]

Eine umfassende Analyse von manualtherapeutischen Befunden und deren Korrelation im Röntgenbild stellte Wolf bei Patienten mit chronischer Polyarthrititis dar. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung von schweren Hypomobilitäten in beiden Untersuchungen. Bei der Untersuchung von beeinträchtigenden Instabilitäten zeigt die manuelle Untersuchung deutlich bessere Ergebnisse. [Wolf et al.] Im Gegensatz zu dem von uns untersuchtem Patientenkollektiv weisen jedoch Patienten mit chronischer Polyarthrititis massive Degenerationen auf, die sich auch röntgenologisch darstellen. Um diese Variable zu minimieren wurde als Einschlusskriterium ein Höchstalter von 40 Jahren gefordert.

Eine genauere Beurteilung der Bandscheibensituation ermöglicht die Kernspintomographie. Diese gilt heute als „Goldstandard“ und ermöglicht zusätzlich Aussagen über die Weichteilverhältnisse. Eine Veränderung der Bandscheibensituation bringt oftmals auch eine Veränderung der Facettstellung mit sich. In 70,5% von 61 Patienten mit lumbalem Prolaps konnte eine Sagittalisierung der Zwischenwirbelgelenke nachgewiesen werden. [Karacan et al.]

Frakturen des Facettegelenks können in der konventionellen Röntgenaufnahme nicht immer dargestellt werden. [Yue et al.] Für diese Veränderung zeigt sich die SPECT oder CT deutlich sensitiver. Wirbelkörperfrakturen werden zum Teil erst nach 2 Wochen nuklearmedizinisch sichtbar. Leider konnte nur ein Patient mit einer akuten Blockierung (Dauer: eine Woche) in die Studie eingeschlossen werden. Eine deutliche Seitendifferenz konnte aber schon nach einer Woche dargestellt werden. Dies ist durch die hohe Sensitivität der Knochenszintigraphie zu erklären. Bei der Definition eines

positiven Blockierungsbefundes wurde die Bedingung einer Uptakedifferenz von mehr als 20% gefordert. Diese Veränderungen sind ohne genaue Vorstellung des zu erwartenden Befundes mit bloßem Auge schnell zu übersehen.

Die SPECT-Untersuchung des Kiefergelenkes zeigte in einer Gruppe von 20 Patienten mit idiopathischem Gelenkschmerzen bei 19 Patienten einen positiven Befund. Dieser hohen Sensivität steht eine schlechte Spezifität gegenüber, da 12 von 20 beschwerdefreien Probanden ebenfalls einen erhöhten Uptake aufwiesen. Auch in dieser Untersuchung zeigte sich, dass 4 von 19 Befunden nicht am Ort der Beschwerden lokalisiert waren. [Nucci De et al.]

Ryan untersuchte 1997 symptomatische Patienten mit Morbus Bechterew mittels SPECT. Ein positiver Befund konnte in 89% der Fälle gestellt werden. 16 Patienten (57%) zeigten einen erhöhten Uptake in den Facettegelenken. [Ryan et al.] Da hier die betroffenen Patienten durchschnittlich älter waren, steigt auch der degenerativ bedingte Stoffwechsel und damit der Uptake. Verbunden mit der rheumatischen Vorschädigung können diese Daten nicht zur Identifikation einer Blockierung genutzt werden.

Beim Vergleich der planaren Szintigraphie und des SPECT zeigte Holder eine extrem hohe Sensitivität zur Bestätigung eines Facettesyndroms. (100% SPECT, 71% planar). Die Spezifität betrug 71% im SPECT und 76% im planaren Verfahren. [Holder et al.] Allerdings wurden hier primär beide Verfahren verglichen, und keine manualtherapeutische Korrelation aufgestellt.

Ein Vergleich dreier bildgebender Verfahren bei 34 Patienten mit chronischem Rückenschmerz zeigte, dass 27 Patienten im SPECT einen positiven Befund hatten. Insgesamt weniger positive Diagnosen konnten durch CT (24) und konventionelles Röntgen (18) gestellt werden. [Ryan et al.]

Zusammenfassend zeigen nuklearmedizinische Untersuchungen des Bewegungsapparates ein hohes diagnostisches Potential. Viele bisher nicht darzustellende Veränderungen scheinen damit nachweisbar. Der hohe Zeitaufwand der kompletten Untersuchung sowie die geringe Dichte an adäquat ausgestatteten

nuklearmedizinischen Zentren lassen zum jetzigen Zeitpunkt sicherlich primär eine akademische Nutzung zu. Ebenfalls müssen eine injektionsbedingte Invasivität sowie eine gewisse Strahlenbelastung berücksichtigt werden, welche mit Kontraindikationen verbunden ist. Bemühungen eine Synovialitis der Temporomandibularregion mittels MRT nachzuweisen wurden bereits publiziert. Ein wünschenswerter Nachweis hypomobiler HWS-Segmente mittels Kernspintomographie aber, findet sich in der Literatur derzeit nicht. Insgesamt ist die Zahl der Publikationen sehr gering. Es bleibt abzuwarten, in welchem Umfang sich diese Techniken in den klinisch-orthopädischen Alltag integrieren werden.

Die eingesetzte Bewegungsanalyse dient primär der Dokumentation einer Rotationsdifferenz der HWS. Retrospektiv aussagekräftiger scheint aber noch der Geschwindigkeitsverlauf während der Bewegung zu sein. Hier manifestiert sich eine neuromuskuläre Störung der Bewegungssegmente. Diese zeigte sich in einem „Wellenförmigen“ Verlauf der Geschwindigkeitskurve kurz vor Erreichen des Endpunktes.

Bei der wiederholten Durchführung einer Messung findet sich in den Grundbewegungen ein Variationskoeffizient von 3,75 bis 6,33. In den kombinierten Bewegungen steigt dieser bis 12,67 an. [Castro et al.] Die Ultraschalltopometrie lässt sich mit der visuellen Winkelmessung nach der Neutral-Null-Methode vergleichen. Positiv fällt eine höhere Reliabilität bei häufigeren Wiederholungen auf. [Somlenski et al.] Hinzu kommt der bereits erwähnte Vorteil der dynamischen Bewegungsbeurteilung.

4.6 Überlegungen zum Schleudertrauma

Ein Ziel dieser Untersuchung bestand darin, Patienten mit Zustand nach HWS – Distorsion in der Objektivierung Ihrer Beschwerden zu unterstützen.

Kumar setzte gesunde Freiwillige einem teils erwarteten, teils unerwarteten Beschleunigungstrauma aus. Dabei wurden die elektromyographischen Diagramme von M. sternocleidomastoideus, M. trapezius und M. splenius capitis beidseitig aufgezeichnet. Beim M. sternocleidomastoideus zeigte sich bei einer Beschleunigung von 13,4 m/s eine Aktivität, die 50% der willkürlichen Anspannung entsprach. Der kurze M. splenius capitis hingegen imponierte durch ein Maximum von 94% der möglichen Aktivität. [Kumar et al.] Elektromyographische Messungen zeigen ein muskuläres Ungleichgewicht zu Lasten der ventralen HWS-Muskulatur bei Patienten mit chronischen Nackenschmerzen. [Falla]

Ein In-vitro-Experiment zeigte eine kontinuierlich hohe Belastung des Übergangs C0 – C1 bereits bei kleinen Gewichten als Simulation des Schädels. Eine signifikante Zunahme der Beschleunigungskräfte bei steigendem Gewicht zeigte sich im Segment C5 – C6, später auch in den angrenzenden Abschnitten. [Ito et al.] Mit dem gleichen Versuchsaufbau wurden auch die Kräfte auf den Anulus fibrosus der Bandscheibe simuliert. Auch hier wurde die Hauptbelastung in der Höhe C5 – C6 lokalisiert. Insbesondere sind die posterior in einem Winkel von 150° verlaufenden Fasern betroffen. [Panjabi et al.]

Die HWS stellt sich als störungsanfälligster Abschnitt der Wirbelsäule bei Unfällen dar. Bei 24,4% der verstorbenen Opfer nach einem Verkehrsunfall zeigen sich Frakturen der Halswirbelsäule. [Kortmann et al.] Das früher propagierte Hyperextensionsmodell kann nach neueren Untersuchungen nicht mehr unterstützt werden. Kapselbanddehnungen imponieren vornehmlich im Segment C6 – C7. [Panjabi et al.]

Diese Studien belegen eine deutlich Beteiligung der Facettegelenke während einer Beschleunigungsbewegung. Durch kapseldehnungsbedingte Schmerzreize oder durch Mikrotraumen verursachte Hypermobilität kann sich eine Blockierung nach einem der

genannten Schemata entwickeln. Auch der hohe Anteil von 83% Patienten in dieser Studie, die mindestens einen Verkehrsunfall hatten, stützt diese Theorie.

In einer Metaanalyse der Literatur fanden sich nur geringe Hinweise für wirksame Interventionen nach einem Schleudertrauma. Weder die Frühmobilisation noch eine moderate Nachbehandlung konnten befriedigende Ergebnisse liefern. [Sarig-Bahat] Leider scheinen nur wenige Therapeuten in der Lage zu sein, manualtherapeutisch fundiert zu untersuchen und zu behandeln. Einer unserer Patienten berichtete über eine Leidensperiode von einem Jahr, in der er 5 Ärzte und Therapeuten erfolglos aufsuchte. Nach der Manipulation C0 – C1 durch Herrn Wolf war er sofort beschwerdefrei und stellte sich 7 Monate später – immer noch ohne Beschwerden – zur Kontrolluntersuchung vor.

Nicht ohne Schmunzeln sollten auch die Wirkungen des sekundären Krankheitsgewinns bedacht werden. Nach Angaben der Zeitschrift „Der Spiegel“ besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Möglichkeit einer Schmerzensgeldforderung und der Diagnose „Schleudertrauma“. In Deutschland bestehe die Möglichkeit ca. 500 € – 800 € zu erstreiten. Dies führe zu einer Diagnosestellung bei ca. 80% der Verunfallten. Litauen zähle zu den wenigen Gebieten der entwickelten Welt, in denen das HWS-Syndrom nicht entschädigt werde. Die chronische Form dieser Krankheit tauche hier nicht auf. Umgekehrt kann das Schleudertrauma sogar völlig ohne physikalische Kräfte entstehen. Forscher aus Münster gaukelten 50 Testpersonen einen Auffahrunfall vor. Die Probanden ließ man eine kleine Rampe herunterrollen. Zugleich wurde das Geräusch einer Heckkollision simuliert. Nach 3 Tagen klagten 20% der Personen über zum Teil heftige HWS-Beschwerden. [Blech]

Das deutsche Schadensersatzrecht gibt im Rahmen der §§ 823, 847 BGB den Geschädigten eine Anspruchsgrundlage zur Geltendmachung ihrer möglichen Schadensersatzansprüche. Gerade im Bereich von Auffahrunfällen im Straßenverkehr bei geringen Geschwindigkeiten ist häufig streitig, ob die vom Geschädigten behauptete HWS - Beeinträchtigung tatsächlich, auf das Unfallereignis zurückzuführen ist. Vor Gericht ist das bislang nur durch ein biodynamisches Gutachten möglich. Die

überwiegende Zahl der Sachverständigen geht davon aus, dass bei geringen Geschwindigkeitsänderungen ($< 10\text{-}20\text{ km/h}$) nicht vom Auftreten eines HWS – Traumas auszugehen ist. Daher muss in jedem Einzelfall die Ursächlichkeit des Unfalls für das Trauma nachgewiesen werden. Der Geschädigte kann unter Umständen - trotz attestiertem HWS - Traumas - nicht beweisen, dass seine Beschwerden von dem Unfall herrühren und geht bezüglich seiner Vorderrungen leer aus.

Da der Knochenstoffwechsel einer veränderten Belastungssituation stets etwas nachläuft, ist es möglich am Tage des Unfalls eine Situation zu dokumentieren wie sie kurz vor dem Unfall bestand. Eine erneute Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt unter subjektiver Beschwerdesymptomatik des Patienten könnte den vielfach juristisch geforderten kausalen Zusammenhang zwischen Unfallereignis und HWS - Veränderung beweisen.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertationsschrift beschreibt die Ergebnisse einer prospektiven Studie zur diagnostischen Aussagekraft der nuklearmedizinischen Methode der Single-Photon-Emission-Computertomographie (SPECT) bei Patienten mit bewegungsgestörten Halswirbelsäulensegmenten.

Komplexe Beeinträchtigungen der Arthrokinematik verbunden mit neurophysiologischen Dysfunktionen spielen vor allem im Bereich der Halswirbelsäule (HWS) eine große Rolle im klinischen Alltag. Schlüsselstruktur sind hier oftmals die Facettegelenke die durch einen noch nicht endgültig geklärten Pathomechanismus eine akute Einschränkung der Beweglichkeit aufweisen. Als Auslöser werden neben Bagatelletraumen oftmals Beschleunigungstraumen im Rahmen von Verkehrsunfällen angegeben. Zum jetzigen Zeitpunkt ist ein hypomobiles Bewegungssegment lediglich manualmedizinisch und somit nicht bildgebend darstellbar. Speziell aber aus forensischen Gesichtspunkten ist die Objektivierbarkeit des posttraumatischen HWS-Syndroms von hoher Relevanz.

Ziel dieser Arbeit war zu überprüfen, ob die nuklearmedizinische Methode der SPECT-Untersuchung geeignet ist, die manualmedizinisch beschriebene Bewegungsstörung objektivierbar diagnostizieren zu können.

Es konnten 25 Patienten eingeschlossen werden, von denen 12 eine manualmedizinisch diagnostizierte Hypomobilität aufwiesen. Die übrigen 13 erhielten aus anderer Indikation eine knochenszintigraphische Untersuchung und konnten bei beschwerdefreier Halswirbelsäule als Kontrollgruppe herangezogen werden. Es wurden 15 Frauen und 10 Männer im Alter von 18-37 Jahren (Durchschnittsalter 27,8) untersucht. Die Probandengruppe zeigte einen hohen Anteil von 11 chronisch kranken Patienten mit einer durchschnittlichen Krankheitsdauer von 3,57 Jahren.

Zunächst wurden manualmedizinisch Höhe und Seite der Hypomobilität, sowie etwaige Nebenfunde diagnostiziert. Anschließend wurde das Bewegungsausmaß der Halswirbelsäule in den Grund- (Ext- und Flexion / Ab- und Adduktion sowie Rotation) und Kombinationsbewegungen (Extension + Rotation / Flexion + Rotation) mit Hilfe

eines ultraschalltopometrischen Verfahrens computergestützt erfasst. Diese Bewegungsanalyse wurde durch eine Schmerzdokumentation mittels der „Visuellen Analog Schmerzskala“ ergänzt.

Im Rahmen der nuklearmedizinischen Untersuchungen durchliefen die Patienten eine planare Dreiphasenszintigraphie mit ^{99m}Tc -HDP sowie eine SPECT (Single-Photon-Emission-Computed-Tomographie). Die Regionen der Zygapophysealgelenke wurden in allen Höhen der Halswirbelsäule mittels der ROI-Technik (Region of interest) seitenvergleichend analysiert. Die Zuordnung zu spezifischen Zwischenwirbelgelenken (C0 – C1 bis C7 – Th1) gelang anhand der charakteristischen Formen der Transversalschnitte.

Neben einer Projektionsradiographie der HWS in 2 Ebenen erhielten die Patienten eine Kernspintomographie in T1- und T2-Wichtung, um eine Aussage über den Flüssigkeitsgehalt der Bandscheibe und etwaige Kompressionen von Nervenstrukturen treffen zu können. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov-Test, Korrelationskoeffizient nach Pearson und der Receiver Operating Curve (ROC).

Nach Abschluss aller Untersuchungen wurde das gestörte Gelenkspiel mittels chirotherapeutischer Manipulation wieder hergestellt.

Nach Analyse der Datenlage durch die ROC konnten anhand der SPECT Auswertung 10 von 12 Patienten mit einer Blockierung zweifelsfrei identifiziert werden. Einer von 13 klinisch unauffälligen Patienten wurde falsch positiv eingeordnet. Dies entspricht einer Sensitivität von 0,83 und einer Spezifität von 0,92.

Höhen- und Seitenlokalisation wurden manualmedizinisch und nuklearmedizinisch in keinem Fall übereinstimmend diagnostiziert. Im Bezug auf das ertastete hypomobile Gelenk fand sich lediglich eine nichtsignifikante Häufung von nuklearmedizinischen Befunden auf gleicher Höhe, aber kontralateral. Biomechanisch kommt es vermutlich zu komplexen Veränderung der Bewegungsachsen innerhalb eines Bewegungssegmentes. Der resultierende Drehpunkt verschiebt sich in Richtung des hypomobilen Facettegelenks und die Kraftweiterleitung muss verstärkt über die kontralaterale Seite erfolgen. Durch verstärkte Druck- und Zugimpulse wird somit der

Metabolismus des Knochens stimuliert. Die aktuellen Ergebnisse berücksichtigend, scheinen aus pathophysiologischer Sicht am ehesten eine Kombination aus Adhäsionskräften, kombiniert mit einer sekundären muskulären Fixierung, ursächlich für eine Blockierung zu sein.

Die planaren nuklearmedizinischen Darstellungen zeigten in keinem Fall einen pathologischen Befund. Ebenso wenig konnten im konventionellen Röntgen der HWS oder im MRT korrelationswürdige Befunde erhoben werden. Aus den Daten der Ultraschalltopometrie konnten keine signifikanten Korrelationen abgeleitet werden. Ein direkter Zusammenhang von Schmerzangabe und Bewegungseinschränkung bestand bei diesem Patientenkollektiv nicht.

Zusammenfassend scheint die SPECT in der Lage zu sein, die blockierte Halswirbelsäule zu identifizieren. Auch wenn die Lokalisation der Blockierung nicht übereinstimmend wiedergegeben werden kann, ist die Anwendung zur Objektivierung des (auch posttraumatischen) HWS-Syndroms in Zukunft zu diskutieren.

II. Bildnachweis

Mein spezieller Dank gilt an dieser Stelle Herrn Udo Wolf, für die Überlassung der Rechte an den Abbildungen aus „Udo Wolf – Angewandte Manuelle Therapie: Band 1“ die ich in den Abbildungen 2-3 bis 2-11 zur Erläuterung der Techniken verwendet habe.

Alle anderen Abbildungen und Tabellen wurden durch den Autor angefertigt.

Vorliegende Arbeit wurde während nachfolgendender Kongresse präsentiert:

Mündlicher Vortrag während des 52. Annual Meeting der Society of Nuclear Medicine, am 20.07.05 in Toronto.

Mündlicher Vortrag während des 48. Jahrestages der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin am 07.04.06 in Berlin.

III. Literaturverzeichnis

1. **Azad SC, Zieglgänsberger W**
Was wissen wir über die Chronifizierung von Schmerz?
Der Schmerz (2003) Vol: 17, 441-444
2. **Bär HF, Witte HF, Pape HG, Grifka J**
Die Bewegungsanalyse der Beschleunigungsverletzung
Der Orthopäde (1998) Vol: 27, 827-33
3. **Baumgartner H**
The upper cervical spine. Symptomatology, clinical diagnosis and therapy of functional disorder
Der Orthopäde (1991) Vol: 20, 127-32
4. **Berghs T**
Muskulär bedingte Dysfunktionsmodelle
Manuelle Medizin (2000) Vol: 38, 42-48
5. **Bessler J**
Arteria-vertebralis-Test in der Manuellen Therapie - eine Literaturstudie
Manuelle Therapie (2001) Vol: 5, 185-197
6. **Beyerlein C**
Geschichte der spinalen Manipulation von Hippokrates bis heute
Zeitschrift für Physiotherapeuten (2002) Vol: 54, 1780-1784
7. **Biedermann H**
Die Begutachtung des HWS-Weichteiltraumas: Funktion vs. Pathomorphologie
Manuelle Medizin (1998) Vol: 36, 14-20
8. **Biedermann H, Hyland M**
Komplexitätstheorie und Manualmedizin
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 355-360
9. **Birkner R**
Das typische Röntgenbild des Skeletts: Standardbefunde und Varietäten vom Erwachsenen und Kind
München-Wien-Baltimore: Urban&Schwarzenberger 1990
10. **Blech J**
Krankheiten, die der Himmel schickt
Der Spiegel (2004) Vol: 32, 130-132
11. **Bogduk N**
The anatomical basis for spinal pain syndromes
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (1995) Vol: 18, 603-5

12. **Brils HJM**
Spinal Therapy nach McKenzie: Mechanische Diagnostik und Therapie
Akademie für Neuro-Orthopädie (2000) Vol: 1
13. **Bronfort G, Assendelft WJ, Evans R, Haas M, Bouter L**
Efficacy of spinal manipulation for chronic headache: a systematic review
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (2001) Vol: 24, 457-66
14. **Bucher O, Wartenberg H**
Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen
Bern: Hans Huber Verlag 1997
15. **Buchmann J, Wende K, Ihracky D, Kundt G, Häßler F**
Gezielte manualmedizinische Untersuchung der Kopfgelenke
Manuelle Medizin (1998) Vol: 36, 32-36
16. **Castro WH, Sautmann A, Schilgen M, Sautmann M**
Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex. An experimental examination
Spine (2000) Vol: 25, 443-9
17. **Chen J, Solinger AB, Poncet JF, Lantz CA**
Meta-analysis of normative cervical motion
Spine (1999) Vol: 24, 1571-8
18. **Christensen HW, Vach W, Manniche C, Haghfelt T, Hartvigsen L, Hoilund-Carlson PF**
Palpation of the Upper Thoracic Spine: An Observer Reliability Study
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (2001) Vol: 25-5, 285-292
19. **Clubb D**
Cervical Manipulation and Vertebral Artery Injury: A Literature Review
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (2002) Vol: 10-1, 11-16
20. **Connolly L, Conolly S, Drubach L, Micheli L, Treves S**
Skeletal scintigraphy of young patients with low-back pain and a lumbosacral transitional vertebra
Nuclear Medicine Communications (2003) Vol: 44, 909-914
21. **Dall'Alba PT, Sterling MM, Treleaven JM, Edwards SL, Jull GA**
Cervical range of motion discriminates between asymptomatic persons and those with whiplash
Spine (2001) Vol: 26, 2090-4
22. **Dutton JA, Hughes SP, Peters AM**
SPECT in the management of patients with back pain and spondylolysis
Clinical Nuclear Medicine (2000) Vol: 25, 93-6

23. **Dvir Z, Prushansky T**
Reproducibility and instrument validity of a new ultrasonography-based system for measuring cervical spine kinematics
Clinical Biomech (Bristol, Avon) (2000) Vol: 15, 658-64
24. **Dvorak J**
Klinische und apparative Untersuchung der Halswirbelsäule
Der Orthopäde (1996) Vol: 25, 505-511
25. **Ernst A, Seidel RO, Todt I**
Wirkmechanismen manueller Medizin an der Halswirbelsäule
HNO (2003) Vol: 51, 759-770
26. **Evans DW**
Mechanisms and effects of spinal high-velocity, low-amplitude thrust manipulation: previous theories
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (2002) Vol: 25, 251-62
27. **Even-Sapir E, Arbel R, Lerman H, Flusser G, Livshitz G, Halperin N**
Bone injury associated with anterior cruciate ligament and meniscal tears: assessment with bone single photon emission computed tomography
Invest Radiol (2002) Vol: 37, 521-7
28. **Falla D**
Unravelling the complexity of muscle impairment in chronic neck pain
Manual Therapy (2004) Vol: 9, 125-33
29. **Feinendegen LE, Shreeve WW, Eckelman WC, Bahk Y-W, Wagner HN**
Molecular Nuclear Medicine
Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2003
30. **Fjellner A, Bexander C, Faleij R, Strender LE**
Interexaminer reliability in physical examination of the cervical spine
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (1999) Vol: 22, 511-6
31. **Fogelman I**
The use of whole-body-retention of ^{99m}Tc-MDP in the diagnosis of metabolic bone disease
Nuclear Medicine (1992) Vol: 19, 270-275
32. **Galm R, Frohling M, Rittmeister M, Schmitt E**
Sacroiliac joint dysfunction in patients with imaging-proven lumbar disc herniation
European Spine Journal (1998) Vol: 7, 450-3
33. **Gemsa D, Kalden JD, Resch K**
Immunologie (Entzündungsreaktion)
Stuttgart: Thieme Verlag 1997

- 34. **Gerstenkorn C, Cacciola R, Thomusch O, Brucke M, Talbot D, Dralle H**
Verzögerte Diagnose einer Odontoidfraktur nach Schleudertraumata der Halswirbelsäule
Der Unfallchirurg (2000) Vol: 103, 895-897
- 35. **Goldmann R, Bornscheuer A, Kirchner E**
Gelenkblockierungen und gestörtes Gelenkspiel unter Muskelrelaxation
Manuelle Medizin (1997) Vol: 35, 56-58
- 36. **Goldmann R, Bornscheuer A, Schultze-Florey T, Kriebel-Goldmann C, Holtje M**
The early axial traction of the cervical spine after anaesthesia with intubation and extreme reclinaton of the head
Anesthesiologie und Intensivmedizin (2002) Vol: 37, 94-8
- 37. **Goldmann R, Kriebel-Goldmann C, Leuwer M, Piepenbrock S**
Gelenkblockierungen im Bereich der Halswirbelsäule bei neuromuskulärer Blockade
Manuelle Medizin (1999) Vol: 37, 137-142
- 38. **Gopal B, Saha PD**
Fundamentals of Nuclear Pharmaca
New York: Springer Verlag 1984
- 39. **Gratz S, Becker W**
Nuklearmedizinische Untersuchungsmöglichkeiten bei Erkrankungen des Skelettsystems
Der Radiologe (2000) Vol: 40, 953-962
- 40. **Greenspan A**
Orthopedic Radiology
New York: Gower Medical Publishing 1988
- 41. **Haaker R, Schopphoff E, Kielich T**
Untersuchung zur HWS-Beweglichkeit mit dem Cebris-Bewegungsanalysesystems
Orthopädische Praxis (1996) Vol: 11, 733-737
- 42. **Hagen KB, Harms-Ringdahl K, Enger NO, Hedenstad R, Morten H**
Relationship between subjective neck disorders and cervical spine mobility and motion-related pain in male machine operators
Spine (1997) Vol: 22, 1501-7
- 43. **Haldeman S, Kohlbeck FJ, McGregor M**
Vertebrobasiläre Dissektion nach zervikalem Trauma und Wirbelsäulenmanipulation
Manuelle Medizin (2000) Vol: 38, 3-16

- 44. **Hartwig E, Kettler A, Schultheiss M, Kinzl L, Claes L, Wilke HJ**
In vitro low-speed side collisions cause injury to the lower cervical spine but do not damage alar ligaments
European Spine Journal (2004) Vol: 13, 590-7
- 45. **Heimann D**
Leitfaden Manuelle Medizin
Lübeck: Gustav Fischer Verlag 1997
- 46. **Henderson DJ, Dormon TM**
Functional roentgenometric evaluation of the cervical spine in the sagittal plane
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (1985) Vol: 8, 219-27
- 47. **Hermann HJ**
Nuklearmedizin
Wemding: Urban & Schwarzenberg 1998
- 48. **Hing WA, Reid DA, Monaghan M**
Manipulation of the cervical spine
Manual Therapy (2003) Vol: 8, 2-9
- 49. **Holder LE, Machin JL, Asdourian PL, Links JM, Sexton CC**
Planar and high-resolution SPECT bone imaging in the diagnosis of facet syndrome
Nuclear Medicine (1995) Vol: 36, 37-44
- 50. **Hourigan CL, Bassett JM**
Facet syndrome: clinical signs, symptoms, diagnosis, and treatment
Journal of Manipulative Physiological Therapeutics (1989) Vol: 12, 293-7
- 51. **Hurwitz EL, Aker PD, Adams AH, Meeker WC, Shekelle PG**
Manipulation and mobilization of the cervical spine. A systematic review of the literature
Spine (1996) Vol: 21, 1746-59; discussion 1759-60
- 52. **Ito S, Ivancic PC, Panjabi MM, Cunningham BW**
Soft tissue injury threshold during simulated whiplash: a biomechanical investigation
Spine (2004) Vol: 29, 979-87
- 53. **Jirout J**
Zur Frage des Entstehungsmechanismus und Diagnose der Blockierung des C2-C3 Segmentes
Manuelle Medizin (1994) Vol: 32, 190-192
- 54. **Johnson GM**
The sensory and sympathetic nerve supply within the cervical spine: review of recent observations
Manual Therapy (2004) Vol: 9, 71-6

55. **Jordan K**
Nuklearmedizin: Messtechnik Teil 1
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1994
56. **Kaltenborn FM, Evjenth O, Kaltenborn TB**
Wirbelsäule - Manuelle Untersuchung und Mobilisation
Oslo: Olaf Norlis Bokhandel 1995
57. **Karacan I, Aydin T, Sahin Z, Cidem M, Koyuncu H, Aktas I, Uludag M**
Facet angles in lumbar disc herniation: their relation to anthropometric features
Spine (2004) Vol: 29, 1132-6
58. **Koch LE, Korbmacher H, Kahl-Nieke B**
Messmethoden zur Darstellung der isolierten Kopfgelenkbeweglichkeit bei Kindern und Erwachsenen
Manuelle Medizin (2003) Vol: 41, 30-32
59. **Kortmann HR, Eggers C, Schofer M, Hax P-M**
Diagnostik und Therapie der Verletzungen der oberen Halswirbelsäule
Trauma Berufskrankheiten (2000) Vol: 2, 134-147
60. **Krämer KL, Stock M, Winter M**
Klinikleitfaden Orthopädie
Stuttgart: Jungjohann 1993
61. **Kumar S, Ferrari R, Narayan Y**
Electromyographic and kinematic exploration of whiplash-type neck perturbations in left lateral collisions
Spine (2004) Vol: 29, 650-9
62. **Kurz H**
Halswirbelsäule und Halsgefäße
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 14-16
63. **Langley GB, Sheppeard H**
The visual analogue scale: Its use in pain measurement, Rheumatology International (Historical Archive)
(1985) Vol: 5, 145 - 148
64. **Lankester BJ, Garneti N, Bannister GC**
The classification of outcome following whiplash injury--a comparison of methods
European Spine Journal (2004) Vol: 13, 605-9
65. **Maeseneer De M, Lenchik L, Everaert H, Marcelis S, Bossuyrt A, Osteaux M, Beckman P**
Evaluation of Lower Back Pain with Bone Scintigraphy and SPECT
Radiographics (1999) Vol: 19, 901-912

66. **Magarey ME, Rebbeck T, Coughlan B, Grimmer K, Rivett DA, Refshauge K**
Pre-manipulative testing of the cervical spine review, revision and new clinical guidelines
Manual Therapy (2004) Vol: 9, 95-108
67. **Malmstrom EM, Karlberg M, Melander A, Magnusson M**
Zebris versus Myrin: a comparative study between a three-dimensional ultrasound movement analysis and an inclinometer/compass method: intradevice reliability, concurrent validity, intertester comparison, intratester reliability, and intraindividual variability
Spine (2003) Vol: 28, E433-40
68. **Mannion AF, Klein GN, Dvorak J, Lanz C**
Range of global motion of the cervical spine: intraindividual reliability and the influence of measurement device
European Spine Journal (2000) Vol: 9, 379-385
69. **McCarthy CJ**
Spinal manipulative thrust technique using combined movement theory
Manual Therapy (2001) Vol: 6, 197-204
70. **McClure P, Siegler S, Nobile R**
Three-dimensional flexibility characteristics of the human cervical spine in vivo
Spine (1998) Vol: 23, 216-23
71. **Mehling WE**
Betrachtungen zur Manipulation an der HWS
Manuelle Medizin (1997) Vol: 35, 144-148
72. **Müller K, Kreutzfeldt A, Schwesig R, Müller-Pfeil J, Bandemer-Greulich U, Schreiber B, Bahrke U, Filkentscher E**
Hypermobilität und chronischer Rückenschmerz
Manuelle Medizin (2003) Vol: 41, 105-109
73. **Niethard FU, Pfeil J**
Orthopädie
Stuttgart: Hippokrates Verlag 1992
74. **Nucci De DJ, Chen CC, Sobiski C, Meehan S**
The use of SPECT bone scans to evaluate patients with idiopathic jaw pain
Oral and maxillofacial surgery (2000) Vol: 90, 750-757
75. **Ordway NR, Seymour RJ, Donelson RG, Hojnowski LS, Edwards WT**
Cervical flexion, extension, protrusion, and retraction. A radiographic segmental analysis
Spine (1999) Vol: 24, 240-7

76. **Panjabi MM, Cholewicki J, Nibu K, Grauer JN, Babat LB, Dvorak J, Bär HF**
Biomechanik des Beschleunigungstraumas
Der Orthopäde (1998) Vol: 27, 813-819
77. **Panjabi MM, Ito S, Pearson AM, Ivancic PC**
Injury mechanisms of the cervical intervertebral disc during simulated whiplash
Spine (2004) Vol: 29, 1217-25
78. **Patijn J**
Komplikationen bei Manueller Medizin
Manuelle Medizin (1993) Vol: 31, 19-22
79. **Pekindil G, Sarikaya A, Pekindil A, Gültekin A, Kokino S**
Lumbosacral transitional vertebral articulation: evaluation by planar and SPECT bone scintigraphy
Nuclear Medicine Communications (2004) Vol: 25, 29-37
80. **Puttlitz CM, Deviren V, Smith JA, Kleinstueck FS, Tran QN, Thurlow RW, Eisele P, Lotz JC**
Biomechanics of cervical laminoplasty: kinetic studies comparing different surgical techniques, temporal effects and the degree of level involvement
European Spine Journal (2004) Vol: 13, 213-21
81. **Ramesh C**
Introductory Physics of Nuclear Medicine
Philadelphia: Lea & Febiger 1982
82. **Refisch A, Bischoff HP**
Manipulation und Läsion der Zervikalarterien
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 109-118
83. **Reiser M, Kuhn F-P, Bebus J**
Radiologie
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2003
84. **Reiser M, Peters P**
Radiologische Differentialdiagnose der Skeletterkrankungen
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1995
85. **Riede UN, Schaefer HE**
Allgemeine und spezielle Pathologie
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2001
86. **Rösler H, Geiger L, Als C, Haldemann A**
Erkrankungen des Bewegungsapparats: Szintigraphische Differentialdiagnose der Rückenschmerzen
Bern: Bähler Verlag 1993

87. **Ryan PJ, Evans PA, Gibson T, Fogelman I**
Chronic low back pain: comparison of bone SPECT with radiography and CT
Radiology (1992) Vol: 182, 849-54
88. **Ryan PJ, Fogelman I**
The role of nuclear medicine in orthopaedics
Nuclear Medicine Communications (1994) Vol: 15, 341-360
89. **Ryan PJ, Gibson T, Fogelman I**
Spinal bone SPECT in chronic symptomatic ankylosing spondylitis
Clinical Nuclear Medicine (1997) Vol: 22, 821-4
90. **Sachse J**
Differentialdiagnostik der reversibel hypomobilen "artikulären Dysfunktion"
Manuelle Medizin (1998) Vol: 36, 176-181
91. **Sachse J, Lewit K, Berger M**
Die lokale pathologische Hypermobilität
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 17-26
92. **Sarig-Bahat H**
Evidence for exercise therapy in mechanical neck disorders
Manual Therapy (2003) Vol: 8, 10-20
93. **Sarikaya I, Sarikaya A, Holder LE**
The role of single photon emission computed tomography in bone imaging
Nuclear Medicine (2001) Vol: 31, 3-16
94. **Saxler G, Schopphoff E, Quitmann H, Quint U**
Können durch Chirotherapie neurologische Schäden hervorgerufen werden.
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 287-292
95. **Schicha H**
Kompendium der Nuklearmedizin
Stuttgart: Schattauer 1991
96. **Schicha H, Schober O**
Nuklearmedizin - Basiswissen und klinische Anwendung
Stuttgart: Schattauer 2003
97. **Schimming R, Juengling FD, Lauer G, Schmelzeisen R**
Evaluation of microvascular bone graft reconstruction of the head and neck with 3-D
99m Tc-DPD SPECT scans
Oral and maxillofacial surgery (2000) Vol: 90, 679-685

98. **Schöps P, Pfinsten M, Siebert U**
Reliabilität manualmedizinischer Untersuchungstechniken an der Halswirbelsäule.
Studie zur Qualitätssicherung in der manuellen Diagnostik
Der Orthopäde (2000) Vol: 138, 2-7

99. **Söllner W, Doering S**
Psychologische Therapieverfahren bei chronischen nicht-radikulären
Rückenschmerzen
Der Schmerz (1997) Vol: 11, 418-429

100. **Somlenski UC, Endres G, Bocker B**
Untersuchung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit mittels
Bewegungsfunktionsanalysesystem Zebris und Winkelmessung
Manuelle Medizin (2003) Vol: 41, 265-373

101. **Speckmann E-J, Wittkowski W**
Das Substrat der "Blockierung"
Manuelle Medizin (1997) Vol: 35, 176-183

102. **Starck SA, Ohlsson J, Carlsson S**
An evaluation of reconstruction techniques and scatter correction in bone SPECT of
the spine
Nuclear Medicine Communications (2003) Vol: 24, 565-70

103. **Sterling M**
A proposed new classification system for whiplash associated disorders--implications
for assessment and management
Manual Therapy (2004) Vol: 9, 60-70

104. **Tillmann B, Töndury G**
Anatomie des Menschen Band 1 - Rauber/Kopsch
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1987

105. **Treede RD**
Pathophysiologie und Diagnostik von sensiblen Störungen bei sympathikusabhängigen
Schmerzen
Der Schmerz (1998) Vol: 12, 250-260

106. **Uhlemann C, Schreiber TU, Sarafowa A**
Reliabilität klinischer Wirbelsäulen-Bewegungsmaße bei Probanden
Physikalisch Medizinische Rehabilitation (2001) Vol: 11, 165-170

107. **Ulrich C, Nothwang J**
Biomechanik und Klinik der Spondylodese an der unteren HWS
Der Orthopäde (1999) Vol: 28, 637-650

108. **Vogt L, Banzer W**
Reproduzierbarkeit thorakaler und lumbaler Wirbelsäulenbewegung mit der 3D-
Ultraschalltopometrie
Physikalische Medizin (1997) Vol: 7, 21-25
109. **Wagner UA, Fend J**
Hörsturzbehandlung durch Manipulation der HWS
Manuelle Medizin (1998) Vol: 36, 269-271
110. **White A, Panjabi MM**
Clinical Biomechanics of the Spine
Philadelphia: J.B. Lippincott Company 1990
111. **Wilke A, Wolf U, Gotthardt M**
Imaging of blocks in the spine with bone scintigraphy (SPECT)
Biomed Tech (Berl) (2000) Vol: 45, 206-10
112. **Wolf U**
Angewandte Manuelle Therapie Band 1
München: Urban & Fischer 2001
113. **Wolf U, Lassen J, Traub F, Wilke A**
Mobilität der Kopfgelenke bei chronischer Polyarthritits
Manuelle Medizin (2000) Vol: 38, 270-273
114. **Yue JJ, Lawrence BD, Sutton KM, Strugar JJ, Haims AH**
Complete cervical intervertebral disc extrusion with spinal cord injury in the absence
of facet dislocation: a case report
Spine (2004) Vol: 29, E181-4
115. **Zoest vGGJM**
Dreidimensionalität direkter Kontaktkräfte während der klinischen manuellen
Untersuchung und Behandlung
Manuelle Medizin (2004) Vol: 42, 208-219

IV. Meine akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die folgenden Damen und Herren:

Arnold; Aumüller; Barth; Basler; Baum; Behr; Bertalanffy; Bien; Bolm; Brilla; Cetin; Czubayko; Daut; Donner-Banzhoff; Effendy; Engel; Engenhardt-Cabillic; Fehmann; Feuser; Fruhstorfer; Fuhrmann; Gemsa; Geus; Görg; Gotthardt; Gotzen; Grau; Gressner; Griss; Groß; Grzeschik; Happle; Hartung; Hasilik; Hellinger; Hesse; Höltermann; Hoffmann; Jaques; Joseph; Kälble; Kern; Kleine; Klenk; Klose; Köhler; Konermann; Koolman; Kretschmer; Krieg; Kroll; Lammel; Lang; Lange; Lemberg; Lennartz; Maisch; McGregor; Mogck; Moll; Moosdorf; Mueller; Mutters; Nies; Oertel; Penzel; Peter; Petermann; Pfab; Radsak; Rawert; Remschmidt; Richter; Röhm; Rosenow; Rothmund; Schachtschabel; Schäfer; Schlegel; Schmidt; Schneider; Schönhofer; Schüffel; Schuermann; Schulz; Schwarz; Seifart; Seitz; Seyberth; Slencka; Sommer; Steiniger; Stiletto; Stempel; Sturm; Vohland; Voigt; Wagner; Walther; Weihe; Werner; Westermann; v. Wichert; Wilhelm, Wilke, Wolf

V. Danksagung

Mein Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. Axel Wilke für die Überlassung des Themas. Von seinen großartigen Fähigkeiten als Orthopäde konnte ich im Laufe unserer Zusammenarbeit sehr profitieren.

Ohne den leitenden Physiotherapeuten Herrn Udo Wolf wäre eine Vollendung dieser Arbeit undenkbar gewesen. Er hatte trotz seines sehr vollen Terminkalenders immer ein offenes Ohr für meine Anliegen. Er begleitete mich über die gesamte Zeit und schuf mit der manualtherapeutischen Untersuchung und Behandlung einen Grundpfeiler der Studie.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer der Nuklearmedizin, Herrn PD Dr. Gotthardt, der mir immer zur Seite stand und mich stets motivieren konnte. Durch seine Unterstützung war es möglich, die Patienten mit Nuklearmedizinischen Methoden zu untersuchen. Er unterstützte mich bei meiner Eingliederung in den klinischen Betrieb und ermöglichte mir Präsentationen auf internationalen Kongressen.

Ein herzlicher Dank gilt den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Klinik für Nuklearmedizin. Allen Medizinisch Technischen Assistentinnen und Assistenten und vor allem Herrn Dr. Jochem Göcke für die Koordination und Untersuchung der Patienten. Herrn Dipl.-Phys. Schurra für die Beantwortung aller EDV bezogenen Fragen.

Den Mitarbeitern der orthopädischen Poliklinik, allen voran Sr. Dorothee Hahn danke ich für die Unterstützung und Koordination der Patienten.

Vielen Dank an meine Freunde, die diese Arbeit Korrektur gelesen haben. Meiner Freundin Sandra Hoh danke ich für ihre Unterstützung und Geduld.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, ohne deren Rückhalt ich nie an den Punkt gelangt wäre, an dem ich mich jetzt befinde.